

**ROGÉRIO TADEU DE SOUZA**

**ASPECTOS FUNDAMENTAIS À COMPREENSÃO DA  
HIDROGEOLOGIA COSTEIRA EM UMA ÁREA DE PONTAL DO  
SUL - PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho

Co-orientadores:

Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi

Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt

Curitiba  
2010

## TERMO DE APROVAÇÃO

*Rogério Tadeu de Sousa*

Aspectos Fundamentais à compreensão da hidrogeologia  
costeira numa área de Pontal do Sul – PR”

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em  
Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da  
Universidade Federal do Paraná. A comissão julgadora foi  
formada por:

  
Prof. Dr. André Celligoi - UEL

  
Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani - UFPR

  
Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho - UFPR  
Presidente

Curitiba, 05 de março de 2010.

- 
- S729a      Souza, Rogério Tadeu
- Aspectos fundamentais à compreensão da hidrogeologia costeira numa área de Pontal do Sul – PR. [manuscrito] / Rogério Tadeu Souza. – Curitiba, 2010.
- 88f. . : il. [algumas color.] ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2010.
- Orientador: Ernani Francisco da Rosa Filho -- Co-orientadores: Eduardo Chemas Hindi; André Virmond Lima Bittencourt.
- Inclui bibliografia.
1. Hidrogeologia. 2. Aquífero. 3. Águas subterrâneas. I.
-

Dedico este trabalho a minha querida mãe.

*In Memoriam*



## RESUMO

Regiões costeiras apresentam uma hidrogeologia bastante complexa e vulnerável, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo. São regiões que apresentam uma correlação muito estreita entre o aquífero livre, as variações de marés, a geologia e a pluviosidade. Esses fatores, de forma isolada ou associados, levam a uma preocupação quanto à vulnerabilidade desses aquíferos. Uma boa caracterização hidrogeológica fornece conhecimentos que podem ser utilizados para propiciar uma melhor gestão territorial bem como dos recursos hídricos subterrâneos. Principalmente porque a localidade de Pontal do Sul possui potenciais características para se transformar em uma região bastante atrativa no que se refere ao setor portuário, além do setor turístico que já está estruturado. Futuras pesquisas envolvendo vulnerabilidade quanto à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos poderão ser desenvolvidas levando, primeiramente, em consideração condições hidrogeológicas como garantia de controle ambiental quanto à segurança das pesquisas bem como auxiliar em tomadas de decisões quanto a futuros empreendimentos que poderão ser instalados naquela localidade. Auxiliando dessa maneira a região a se desenvolver economicamente dentro dos padrões de sustentabilidade ambiental. O aquífero livre, também chamado de zona saturada, caracteriza-se por apresentar alta mobilidade de substâncias que podem contaminar a água subterrânea e está associada ao fluxo subterrâneo do mesmo, transportando dessa forma essas substâncias a longas distâncias e disponibilizando-as a diferentes potenciais receptores, inviabilizando o uso e consumo dessa água. Este trabalho tem por objetivo realizar uma caracterização completa da hidrogeologia da área de estudo através da determinação de seus parâmetros hidroquímicos e hidrogeológicos. Para tanto, foram perfurados cinco piezômetros, três poços de monitoramento para caracterização geológica e hidrogeológica. O local de desenvolvimento da pesquisa é uma área adjacente ao CEM-UFPR - Centro de Estudos do Mar, na localidade denominada Pontal do Sul que pertence ao município de Pontal do Paraná, litoral do Paraná distante aproximadamente 120 km de Curitiba. O aquífero freático é caracterizado como arenoso, com alta porosidade total (38,7% a 44,5%) e efetiva (30,3% a 37,7%) e densidade variando entre 1,95 g/cm<sup>3</sup> a 2,56 g/cm<sup>3</sup>. A condutividade hidráulica foi determinada por meio de dois métodos. O

primeiro refere-se ao teste de *slug*, no qual os dados de nível d'água em função do tempo foram interpretados pelo método de *Hvorslev*. O segundo utilizou-se dados gerados a partir da distribuição da curva granulométrica e interpretados por meio do método de *Shepherd*. As análises granulométricas apresentaram amostras de granulação fina a média. A geologia é constituída por sedimentos inconsolidados marinhos de planície costeira, indiferenciados, com cordões litorâneos da fase antiga e aluviões recentes do Cenozóico. Por meio da leitura do nível d'água e levantamento planimétrico, para as maiores elevações de maré, o fluxo subterrâneo mostrou-se para a direção norte (mais próximo ao mar) e noroeste no interior do CEM no sentido Rio Perequê. Para a caracterização da interferência do nível d'água subterrâneo com as variações de maré foi utilizado um *Mini-Diver®*, e para calibração do nível d'água com a pressão atmosférica, um *Baro-Diver®*. As medidas indicaram que as variações do nível d'água estão mais estreitamente associadas à pluviosidade do que com a maré propriamente dita, e, preferencialmente, o fluxo tem direção ao canal do Rio Perequê.

**Palavras chaves:** hidrogeologia, aquífero freático, nível d'água.

## **ABSTRACT**

Coastal regions have a very complex and vulnerable hydrology, both quantitatively and qualitatively. Are regions that have a very close correlation between the free aquifer, the tidal variations, geology and rainfall. These factors, alone or associated, leading to a concern about the vulnerability of these aquifers. A good hydrogeological characterization provides knowledge that can be used to provide a good land management and groundwater resources. Mainly because the town of Pontal do Sul has potential characteristics to become a very attractive region with regard to the port sector, beyond the tourism sector is already structured. Future research involving vulnerable with regard to contamination of groundwater resources could be developed taking, first, into account the hydrogeological conditions to guarantee environmental control and safety research and assist in making decisions about future developments that could be realized that area, helping, in this way, the region to develop economically within the standards of environmental sustainability. The free aquifer, also called the saturated zone, is characterized by having high mobility of substances that can contaminate groundwater and is linked to its underground flow, transporting, thus, these substances over long distances, making them available to different potential receptors, invalidating the use and consumption of water.

This thesis aims to achieve a complete characterization of the hydrogeology of the study area through the determination of their hydrogeological and hydrochemical parameters. To this end, five piezometers were drilled, three monitoring wells for geological and hydrogeological characterization. The local development of research is an area adjacent to the CEM-UFPR - Centro de Estudos do Mar, at the locality of Pontal do Sul, which belongs to the municipality of Pontal do Paraná, Paraná coast, about 120 kilometers from Curitiba. The groundwater aquifer is characterized as sandy, with high porosity (38.7% to 44.5%) and effective (30.3% to 37.7%) and density ranging from 1.95 g/cm<sup>3</sup> to 2.56 g / cm<sup>3</sup>. The hydraulic conductivity was determined by two methods. The first refers to the slug test, in which the data of water level versus time were interpreted by the method of Hvorslev. The second used the data generated from the distribution of the grading curve and interpreted through the method of Shepherd. Particle size analysis showed samples of fine-grained average. The geology consists of unconsolidated marine sediments of the coastal

plain, undifferentiated, with ridges of old phase and mudslides recent Cenozoic. Through the reading of water level and planimetric survey for the highest elevations of the tide, the groundwater flow is shown to the north (closest to the sea) and northwest, within the CEM in the sense of the Perequê River. To characterize the interference of the underground water with tidal variations, we used a *Mini-Diver®*, and for the calibration of water level with atmospheric pressure, we used a *Baro-Diver®*. The measures indicated that changes in water level are more closely related to rainfall than the tide itself, and, preferably, the flow is directed into the channel of the Perequê River.

**Keywords:** hydrogeology, groundwater aquifer, the water level.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força nos momentos difíceis. Segundo, ao amigo Fábio pelo incentivo para que eu pudesse manter minha perseverança e continuar adiante.

À minha família, pela paciência e compreensão nas horas que eu achava que tudo estava perdido.

À Vanessa, pela compreensão ao tempo que me dediquei de corpo e alma a este trabalho.

Ao grande amigo Thiago Elias Ramos Bonis Silva, que me deu muita força nos momentos difíceis e, talvez, sem seu apoio e força este trabalho não seria realizado.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho, por acreditar na ousadia da minha proposta e acreditar no meu esforço de levar o projeto adiante.

À Dr<sup>a</sup>. Eunice C. Machado e ao Dr. Eduardo Marone pelo apoio e incentivo, sem os quais não seria possível a realização deste estudo.

Aos meus co-orientadores pelas idéias e sugestões, especialmente ao Dr. Eduardo Chemas Hindi.

Ao Dr. Marco Aurélio Zequim Pede, ISR-In Situ Remediation Rental Ltda, pela paciência em me ensinar a operar o equipamento para os testes de *slug*, pelas valiosas sugestões e trocas de idéias sobre hidrogeologia e contaminação, sem as quais provavelmente não chegaria onde cheguei.

A MDGeo Serviços de Hidrogeologia Ltda., especialmente ao amigo Carlos Selestino Cantarutti, que me cedeu gentilmente os equipamentos utilizados para desenvolvimento da pesquisa.

A Schlumberger Water Services, especialmente ao amigo Danilo Almeida, que gentilmente cedeu o *Baro-Diver* e auxiliou-me no aprendizado do *software*.

Às idéias práticas e “invodoras” e às vezes inusitadas que sempre deram resultado em campo do amigo Nayrton Narciso Baeta da Silva “Shaolim”.

À amiga Rosi Mainko pela sua presteza, em Curitiba, e agilidade para que toda logística na entrega das amostras de água no laboratório dessem certo.

Ao grande amigo Humberto Coelho com sua costumeira presteza e ajuda na elaboração de algumas figuras.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa de localização da área de estudo. A área em vermelho mostra a localização onde está sendo desenvolvida a pesquisa. Fonte: Modificado de Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná, 2008.....	2
FIGURA 2. Índices pluviométricos 2008-2009. Fonte: LFM-UFPR, 2009. ....	5
FIGURA 3. Principais unidades geológicas do Escudo. Fonte: MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A.....	7
FIGURA 4. Geologia da área de estudo (em vermelho). Fonte: Modificado de MINEROPAR - Folha de Curitiba 1:250.000. ....	9
FIGURA 5. Modelo Conceitual da zona do aquífero sob consideração. Fonte: Adaptado de SURESH BABU <i>et al.</i> , 2008.....	11
FIGURA 6. Carga hidráulica em um ponto do aquífero (no fundo do poço) expressa pelo nível potenciométrico. Fonte: Adaptado de Feitosa e Manoel Filho, 1997. ....	16
FIGURA 7. Intervalos de valores para condutividade hidráulica e permeabilidade. Fonte: Modificado de API, 2004. ....	21
FIGURA 8. (A) <i>Slug Test</i> e (B) <i>Bail Test</i> . Fonte: (OLIVA, 2006). ....	22
FIGURA 9. Desenho esquemático ilustrando o teste de <i>slug</i> com os parâmetros geométricos, necessárias para estimar a condutividade hidráulica pelo método de <i>Hvorslev</i> . Fonte: (OLIVA, 2006). ....	26
FIGURA 10. Desenho esquemático ilustrando o teste de <i>slug</i> com os parâmetros geométricos necessários para estimar a condutividade hidráulica pelo método de Bouwer e Rice (1976). Fonte: (OLIVA, 2006).....	27
FIGURA 11. Gráfico mostrando a relação da condutividade hidráulica para a média do diâmetro dos grãos para sedimentos de diferentes maturidade textural. Fonte: FETTER, 2001. ....	31
FIGURA 12. Desenho esquemático para cálculo das cotas. Fonte: (SILVA, 2003). .	34
FIGURA 13. Detalhe da descrição funcional do aparelho modelo HI 98129 e medições realizadas em campo. Fonte: <i>HANNA Instruments</i> , (2009). ....	40

FIGURA 14. Desenho esquemático do posicionamento do <i>Mini-Diver</i> ® (2) e do <i>Baro-Diver</i> ® (1) dentro do poço de monitoramento. Fonte: <i>Schlumberger WaterServices</i>	42
FIGURA 15. A seta em branco mostra o local onde foi coletada a amostra de solo. Fonte: Modificado do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências – ITCG (2007).	43
FIGURA 16. Gráfico com o resultado das análises granulométricas do material coletado na perfuração do piezômetro PCH 03.	44
FIGURA 17. Localização dos piezômetros para caracterização hidrogeológica e geológica. A seta em branco mostra os piezômetros onde realizou-se os testes de <i>slug</i> . Fonte: Modificado de Instituto de Terras, Cartografia e Geociências – ITCG (2007).	46
FIGURA 18. Gráfico referente ao teste de <i>slug</i> realizado no piezômetro PCH 05 mostrando as partes necessárias a uma boa interpretação.	47
FIGURA 19. Gráfico referente ao teste de <i>slug</i> realizado no piezômetro PCH 02. ...	48
FIGURA 20. Gráfico referente ao teste de <i>slug</i> realizado no piezômetro PCH 01. ...	48
FIGURA 21. Mapa potenciométrico mostrando o fluxo da água subterrânea da área de estudo em 25.04.2009. Ressalta-se que o mar encontra-se na direção leste da figura e o Rio Perequê, a oeste.	50
FIGURA 22. Mapa potenciométrico mostrando o fluxo da água subterrânea da área de estudo em 05.10.2009 por volta das 09:00 hs. Maré baixa 0,10 m de altura. ....	51
FIGURA 23. Mapa potenciométrico mostrando o fluxo da água subterrânea da área de estudo em 05.10.2009 por volta das 15:38 hs. Maré alta 1,50 m de altura. ....	51
FIGURA 24. Perfil esquemático dos piezômetros. ....	54
FIGURA 25. Gráfico variação do N.A. x variação da maré. ....	56
FIGURA 26. Gráfico variação do N.A. x variações máximas e mínimas da maré. ....	57
FIGURA 27. Gráfico variação do N.A. x variação mínima da maré. ....	58
FIGURA 28. Gráfico variação do N.A. x variação máxima da maré. ....	58
FIGURA 29. Gráfico variação do N.A. x variação da temperatura. ....	59
FIGURA 30. Diagrama de Piper mostrando a classificação da água coletada no piezômetro PCH 01. ....	62



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Flutuação do lençol freático na bacia do Rio Perequê (Modificado de SURESH BABU <i>et al.</i> , 2008).....	10
TABELA 2. Intervalos de permeabilidade e condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados (Modificado de FETTER, 2001). ....	20
TABELA 3. Resultados das análises granulométricas .....	43
TABELA 4. Resultados de condutividade hidráulica aplicando o método de <i>Shepherd</i> .....	45
TABELA 5. Resultados de condutividade hidráulica aplicando o teste de <i>slug</i> .....	49
TABELA 6. Características construtivas dos piezômetros .....	53
TABELA 7. Características construtivas dos poços de monitoramento.....	55
TABELA 8. Resultados das análises de água medidos <i>in situ</i> .....	60
TABELA 9. Resultados das análises físico-químicas de água coletada no piezômetro PCH 01.....	61
TABELA 10. Relação iônica segundo Custódio e Llamas, 2001 .....	62
TABELA 11. Resultados das análises de água coletada nos piezômetros PCH 02 e PCH 05.....	62
TABELA 12. Cota dos piezômetros.....	63

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CTD Data Logger - Diver multi-parameter groundwater instrument.

CEM - Centro de Estudos do Mar. Universidade Federal do Paraná, UFPR.

LFM - Laboratório de Física Marinha da Universidade Federal do Paraná, UFPR.

N.A. – Nível de água.

ORP – Oxidation Reduction Potential (Potencial de Oxidação Redução – Eh).

EC – Eletric Conductivity (Condutividade Elétrica).

pH – Potencial Hidrogênioônico.

## ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 1. (1) transdutor de pressão, (2) medidor de nível d'água (3) <i>laptop</i> utilizado para armazenamento dos dados gerados durante o teste. ....	24
FOTO 2. Equipamento construído para desenvolvimento dos piezômetros e poços de monitoramento. (1) Válvula de sucção, (2) tubo de PVC e (3) mangueira de polietileno. ....	29
FOTO 3. Equipamento utilizado no nivelamento geométrico. (1) Mira, (2) Nível.....	33
FOTO 4. Detalhe da realização das ranhuras. ....	36
FOTO 5. Amostras de solo coletadas. ....	36
FOTO 6. Material da perfuração retirado e tubo geomecânico utilizado como revestimento.....	37
FOTO 7. <i>Bailers</i> de PVC utilizados na purga dos poços e amostragem de água subterrânea. ....	39

## SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT .....	iv
AGRADECIMENTOS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE FOTOS.....	xii
SUMÁRIO.....	xiii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Localização .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
3.1 Clima.....	4
3.2 Precipitação .....	4
3.3 Aspectos geomorfológicos .....	5
3.4 Aspectos geológicos regionais.....	6
3.5 Aspectos geológicos da área de estudo .....	7
3.6 Hidrogeologia.....	10
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
4.1 Aspectos hidrogeológicos .....	12
4.1.1 Ensaios de condutividade hidráulica.....	12
4.1.2 Porosidade efetiva .....	13
4.1.3 Potenciometria e fluxo de água subterrânea .....	14
4.2 Potencial Redox - ORP .....	17
4.3 Levantamento topográfico.....	19
4.4 Granulometria .....	19
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
5.1 Teste de slug.....	22
5.2 Análise granulométrica.....	29
5.3 Nivelamento geométrico .....	32
5.4 Perfuração, instalação dos piezômetros e coleta de amostras de solo.....	35
5.5 Perfuração, instalação dos poços de monitoramento .....	36

5.6 Coleta de água subterrânea e de dados de campo (ORP, pH e EC).....	38
5.7 Monitoramento do nível d'água e calibração barométrica das leituras .....	41
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	42
6.1 Caracterização hidrogeológica.....	42
6.1.1 Condutividade hidráulica.....	42
6.1.2 Potenciometria e fluxo subterrâneo .....	49
6.1.3 Piezômetros.....	53
6.1.4 Poços de monitoramento .....	54
6.1.5 Avaliação multinível do nível d'água.....	55
6.1.6 Monitoramento do nível d'água, temperatura da água e pressão atmosférica .....	55
6.2 Hidroquímica.....	60
6.3 Nivelamento geométrico .....	63
7 CONCLUSÃO.....	64
8 REFERÊNCIAS.....	66

ANEXO A1 - BOLETINS DE ENSAIOS DAS AMOSTRAS DE SOLO

ANEXO A2 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

ANEXO A3 - PLANTA PLANIMÉTRICA DA ÁREA DE ESTUDO E PLANILHA DE CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DAS COTAS DOS PIEZÔMETROS

ANEXO A4 - PERFIL CONSTRUTIVO DO POÇO DE MONITORAMENTO

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 LOCALIZAÇÃO**

O local escolhido para desenvolvimento da pesquisa situa-se numa área adjacente ao Centro de Estudos do Mar - CEM, pertencente ao Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná - UFPR. O CEM localiza-se no município de Pontal do Paraná, litoral do Paraná, distante aproximadamente a 120 km de Curitiba na localidade denominada Pontal do Sul.

O município de Pontal do Paraná faz divisa ao Sul com o município de Matinhos, a Oeste com o município de Paranaguá, e a leste e ao norte com o Oceano Atlântico. O município está compreendido na latitude 25°40' S do Equador e a 48°25' W de Greenwich e enquadra-se na planície costeira de Praia de Leste, caracterizada por um relevo bastante suave e de baixa altitude.

A principal via de acesso à área de estudo é a rodovia BR-277, que liga Curitiba a Paranaguá. Saindo da BR-277, próximo ao km 07, segue-se pela rodovia estadual PR-407 a aproximadamente 30 km até Pontal do Paraná (FIGURA 1).

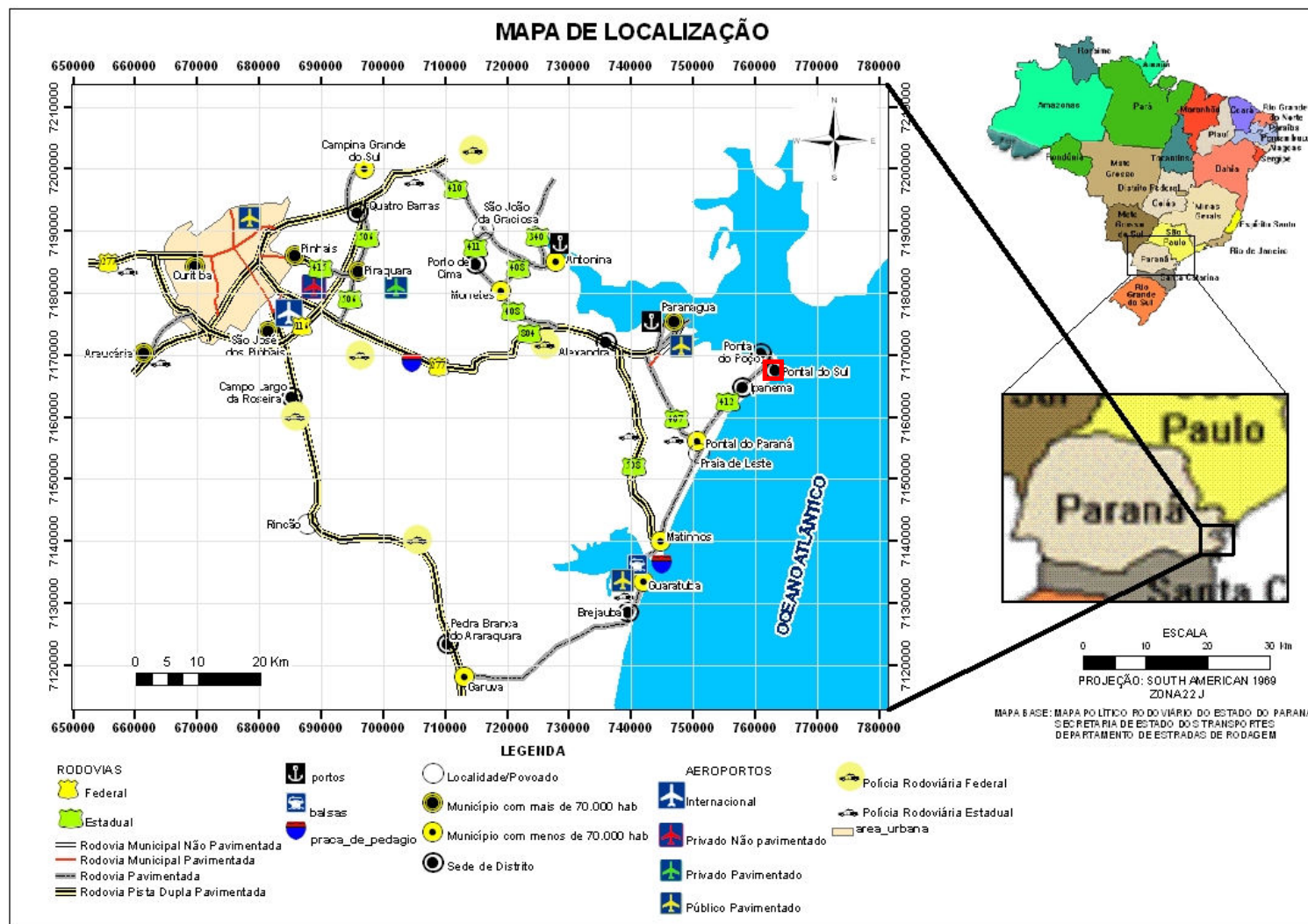


FIGURA 1. Mapa de localização da área de estudo. A área em vermelho mostra a localização onde está sendo desenvolvida a pesquisa. Fonte: Modificado de Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná, 2008.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste estudo foi avaliar o comportamento do aquífero quanto ao fluxo subterrâneo, parâmetros hidroquímicos e interferências da maré e de fatores climáticos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Instalar piezômetros e poços de monitoramento para caracterização da geologia e hidrogeologia local.
- Investigar a relação entre a variação do nível d'água subterrâneo com a maré.
- Interrelacionar os parâmetros climáticos com o comportamento da água subterrânea.

## **3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO**

A costa paranaense possui 105 km de extensão linear no sentido norte-sul, constituindo nesse aspecto um dos menores litorais entre os estados litorâneos do Brasil.

A área de estudo situa-se na Bacia do Rio Perequê. Essa bacia faz parte da extensa planície costeira de Paranaguá, situada no sul do país. Esta área é formada por uma planície de cordões, como é chamada, e possui aproximadamente 7 km de largura e 50km de comprimento, estendo-se de Pontal até a Baía de Guaratuba. Esta parte da zona costeira do Atlântico foi formada pela emersão de uma barreira de acomodação sob condições de baixa elevação do nível do mar. Como resultado, esta área abrange uma densa pilha de sedimentos inconsolidados de origem flúvio-marinha. A espessura da camada superior do Holoceno é de aproximadamente 20 m, e a profundidade do embasamento é em torno de 100 a 120 m. A planície de cordões é constituída de sulcos paralelos na areia e é largamente composta de grãos de areia de tamanho fino a médio com intercalações de lamas estuarinas em diferentes profundidades (SURESH BABU *et al.*, 2008).



### **3.1 CLIMA**

Segundo a classificação de Köppen<sup>1</sup>, o clima é do tipo Cfa, subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (IAPAR, 2009).

### **3.2 PRECIPITAÇÃO**

A estação meteorológica do CEM, localizada em Pontal do Sul, operada pelo Laboratório de Física Marinha (LFM), registrou para o ano de 2000 a precipitação total de 3.144 mm, sendo o mês mais chuvoso o de fevereiro, com 498 mm, e o menos chuvoso o de abril, com apenas 21 mm de precipitação (VEIGA, 2004).

Conforme apresentado na FIGURA 2, para o ano de 2008 e 2009, as chuvas apresentaram, para os meses de janeiro e julho, uma redução significativa na intensidade pluviométrica, mantendo-se uniforme para os meses seguintes.

---

<sup>1</sup> A classificação climática de Köppen divide os climas em 5 grandes grupos ("A", "B", "C", "D", "E") e diversos tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto variável de letras (com 2 ou 3 caracteres).

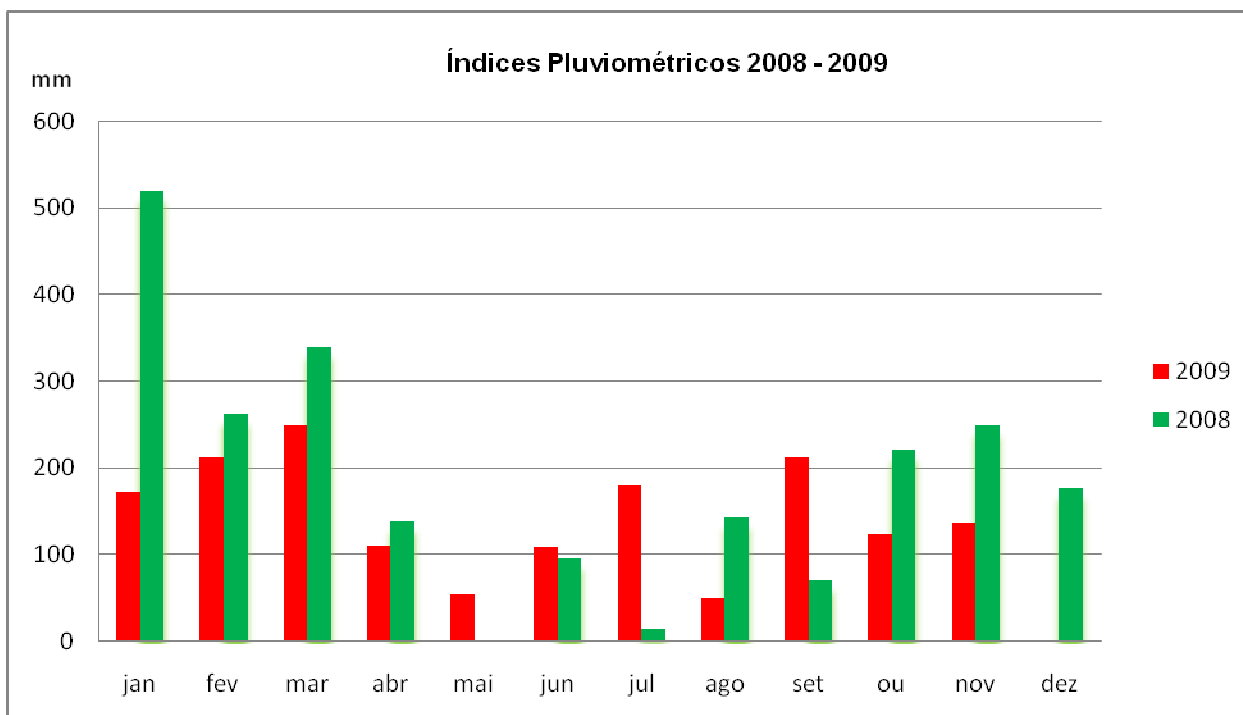


FIGURA 2. Índices pluviométricos 2008-2009. Fonte: LFM-UFPR, 2009.

### 3.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

O município de Pontal do Paraná enquadra-se na Planície Costeira de Praia de Leste. O relevo caracteriza-se por apresentar quase plano e é constituído por baixa altitude.

A área de estudo ocupa superfície deprimida de entre-cordões marinhos em planície quaternária, composta por sedimentos holocênicos, predominantemente marinhos. Estes sedimentos estão relacionados ao movimento de transgressão e regressão marinha. Esta é composta por solos de textura essencialmente arenosa (RACHWAL; CURCIO, 2001).

Segundo Angulo (1992), a planície costeira paranaense estende-se desde o sopé da Serra do Mar até o Oceano Atlântico. A Serra da Prata divide a planície costeira paranaense em um setor norte, no qual ocorre a baía de Paranaguá, e um setor sul, associado à baía de Guaratuba.

Entre a planície e o oceano existe uma costa de praias arenosas de orientação predominante nordeste com escassos pontais rochosos, sendo a continuidade da

costa interrompida pela desembocadura dos estuários. Nestas desembocaduras e nas suas áreas de influência, os depósitos sedimentares de águas rasas apresentam certa complexidade, configurando deltas de marés ou formas associadas, que resultam da interação das correntes de marés, ondas e correntes de deriva litorânea. Pequenas variações na configuração desses deltas, originadas pela dinâmica do próprio sistema, tais como deslocamento de barras, provocam mudanças significativas na linha de costa. Tais mudanças podem ser cíclicas, alternando-se processos erosivos e de sedimentação em curta escala de tempo (DEZINHO, 2004).

### **3.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS**

Na área de estudo, ocorrem dois domínios geológicos principais: o das rochas do embasamento ou escudo; e o da cobertura sedimentar cenozóica. Tanto as rochas como os sedimentos estão associados às grandes unidades geomorfológicas da região. O litoral do Paraná está localizado no bloco costeiro da área de estudo (ANGULO, 2004).

As rochas do embasamento cristalino ou escudo, conforme apresentado na FIGURA 3, são formadas por rochas ígneas e metamórficas com idades variando do Arqueano ao Proterozóico, estando localmente recobertas por sequências vulcano-sedimentares, sedimentares e sedimentos inconsolidados. As rochas mais antigas, de alto grau metamórfico, afloram na porção sudeste, e as de baixo grau, na porção norte-noroeste. No Proterozóico e Cambriano, início do Paleozóico, manifestações magmáticas originaram as rochas granitóides. No Mesozóico, ocorreram intrusões de rochas carbonáticas, alcalinas e básicas (MINEROPAR, 1999).

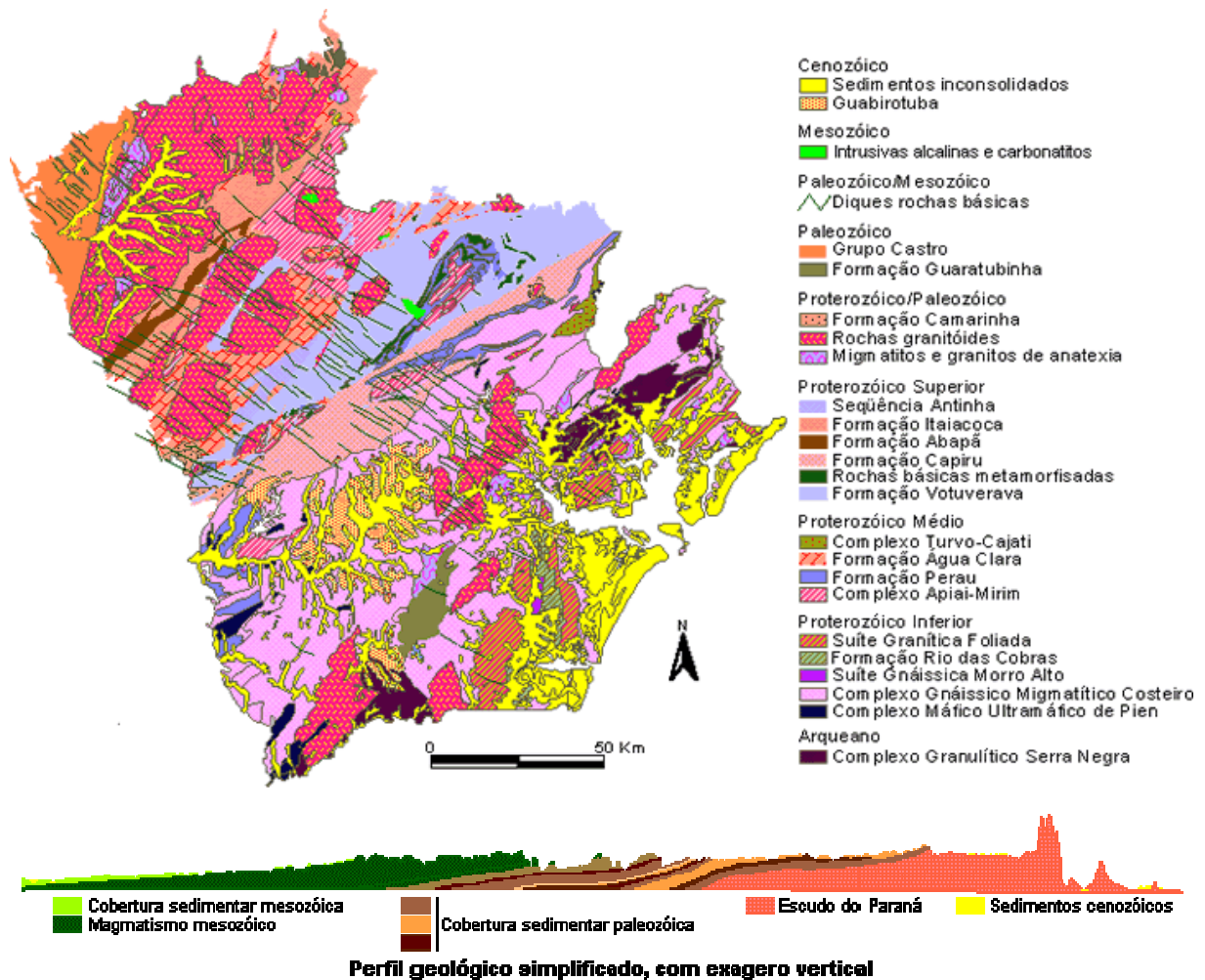


FIGURA 3. Principais unidades geológicas do Escudo. Fonte: MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A.

### 3.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, conforme apresentado na FIGURA 4, está situada na porção sudeste do estado do Paraná. A geologia é constituída por sedimentos marinhos de planície costeira, indiferenciados, com cordões litorâneo da fase antiga e aluviões recentes do Quaternário Holoceno (MINEROPAR, Folha de Curitiba 1:250.000, 2006).

Os sedimentos recentes, do Cenozóico, com idades inferiores a 1,8 milhões de anos, recobrem parcialmente as rochas da Bacia do Paraná e do Escudo do Paraná. São originados por erosão e deposição dos produtos do intemperismo de litologias mais antigas. Esses sedimentos são constituídos por grãos de areia quartzosa, bem

selecionados, homogêneos, textura madura e possuem granulação predominante de fina a média.

O processo formador é hidráulico-deposicional, fluvial no interior do continente, condicionado às calhas de drenagem dos rios e planícies de inundação, e marinho e deltaico na faixa litorânea. Depósitos de terraço aluvionares mais antigos passam, com o avanço do processo erosivo, a constituírem paleoterraços em posição topográfica superior aos aluviões mais recentes. Depósitos coluviais ocorrem localmente em encostas e são provenientes de movimentos de massas. Sua formação teve início no período Quaternário e permanece ocorrendo devido ao avanço do intemperismo, erosão e retrabalhamento dos sedimentos e rochas preexistentes (MINEROPAR, 1999).



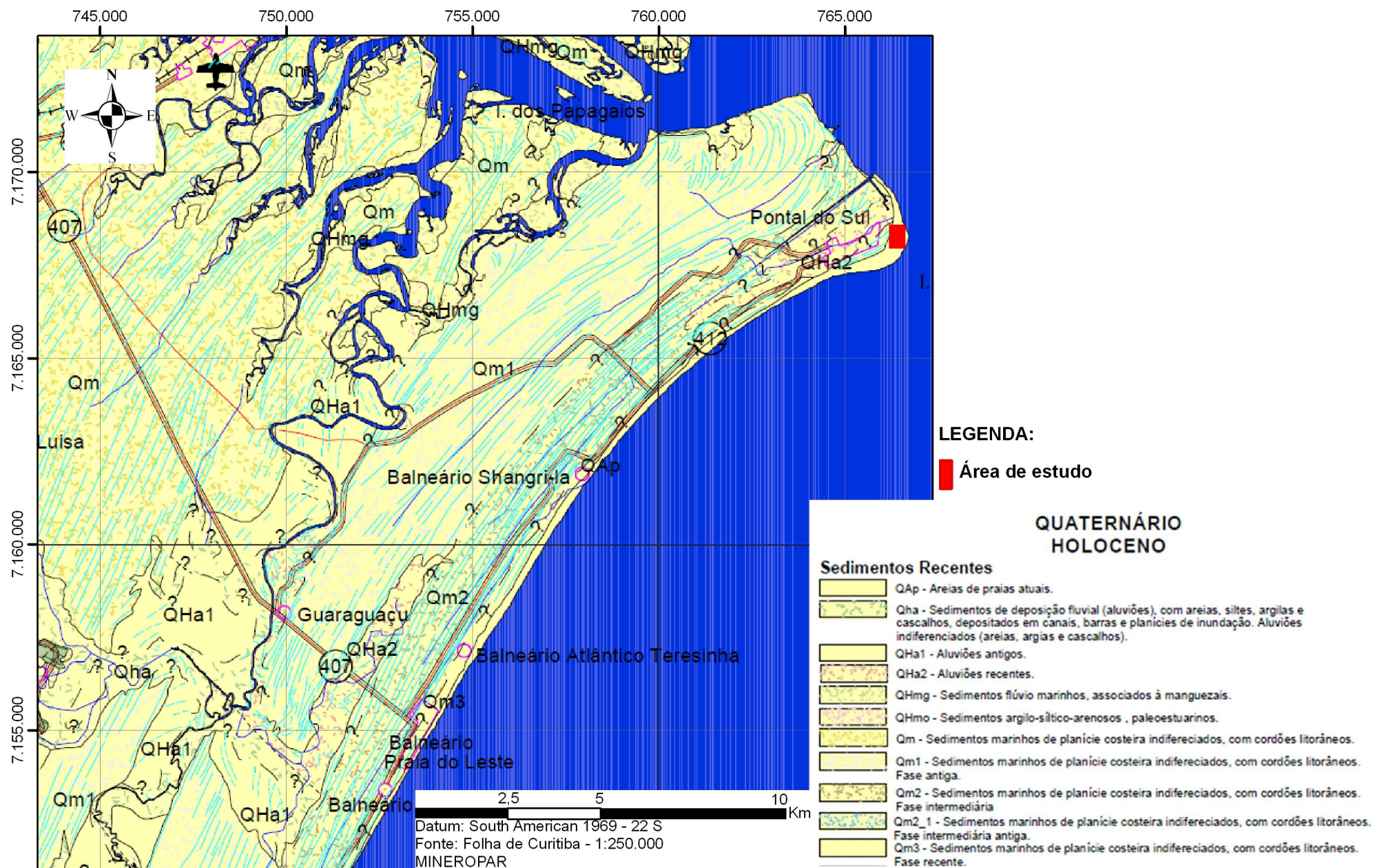


FIGURA 4. Geologia da área de estudo (em vermelho). Fonte: Modificado de MINEROPAR - Folha de Curitiba 1:250.000.

### 3.6 HIDROGEOLOGIA

SURESH BABU (2008) utilizou dados de nível d'água durante o período de dezembro 2001 a julho 2002. Foram utilizados dezesseis piezômetros que apresentaram variações de 0,45 m a 2,35 m, de poço a poço e estação a estação. Os valores médios estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Flutuação do lençol freático na bacia do Rio Perequê (Modificado de SURESH BABU *et al.*, 2008)

Poço N°	Coordenadas (m)		Elevação da topografia no local do poço (m) acima do nível do mar*	Altura do poço acima do terreno local (m)	Profundidade total do poço abaixo da superfície do terreno (m)**	Profundidade do nível d'água a partir da superfície local (m)***
2	766113	7169480	2,112	0,08	5,0	1,53
3	765991	7169421	0,91	0,57	4,75	1,51
5	765713	7169254	0,633	0,47	6,0	0,71
6	765518	7169073	0,627	0,42	5,7	0,51
7	765391	7169390	1,175	0,43	6,1	1,22
8	765625	7168752	1,115	0,52	3,9	1,23
9	765196	7168549	2,26	0,22	4,5	0,89
10	764661	7168240	2,19	0,15	6,0	1,08
11	764825	7168423	2,07	0,45	6,0	0,66
12	764720	7168776	2,07	0,46	6,0	0,95
13	764799	7168082	1,75	0,50	6,0	0,43
14	765277	7168211	1,75	0,30	5,6	0,93
15	765324	7167934	2,25	0,41	5,5	0,61
16	765628	7168180	1,626	0,48	5,25	1,17
17	765872	7168440	1,24	0,36	5,85	1,35
18	766137	7168741	2,317	0,40	6,0	1,53
Poço slug	766243	7168927	1,972	0,0	3,0	1,1

\* Levantamento com referência local Datum (+1,977) acima do nível do mar disponível no CEM.

\*\* O final do filtro está em 50 cm em todos os poços e ele é incluído no total da profundidade.

\*\*\*Aplicada a correção com a respectiva altura dos poços acima da superfície do terreno” para cálculo do “elevação do nível d'água acima do local acima do nível do mar” da profundidade do nível d'água para alimentação do modelo.

As leituras observadas nos poços já apresentam correções com o nível das altitudes locais e o nível piezométrico para determinação da carga hidráulica. Múltiplos parâmetros foram observados durante 24 horas, em intervalos de tempo de 5 minutos. Para tanto, foi utilizado um *CTD Data Logger*, que foi instalado nos poços 10, 17 e 02. Esses poços de observação, instalados com diâmetro de 200 mm no campus do Centro de Estudos do Mar – CEM, mostraram que o nível d'água apresentou uma elevação máxima de 10 cm para um carregamento de maré equivalente a 1,25 m de amplitude, próximo à desembocadura do Rio Perequê. As leituras de mudança de estágio do rio durante o período correspondente foi de 0,55 m a 1,5 m, conforme registrado no CEM. O efeito da variação da água de superfície no Rio Perequê e suas cercanias devido à força da maré induz uma condição de estresse ao componente água subterrânea. A distância lateral entre o estágio do rio e o poço onde foi realizado o teste de *slug* é de aproximadamente 50 m. A intensidade da carga de maré para dentro do rio Perequê é 0,00009 m/s (MARONE *et al.*, 2005). O efeito da mudança da superfície d'água dentro do canal do Perequê e nas vizinhanças é devido à condição de tensão induzida pela força da maré na componente da água subterrânea. Esquemáticamente, está apresentado na FIGURA 5 a intensidade do carregamento da maré na área de estudo.

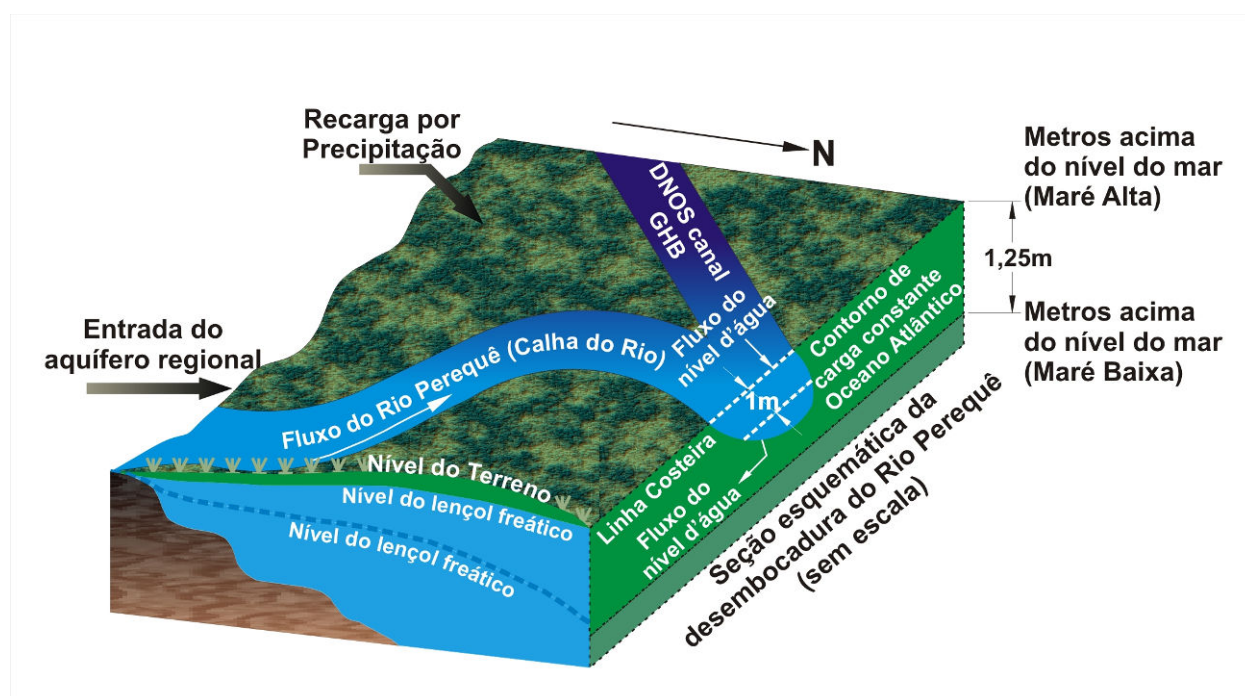


FIGURA 5. Modelo Conceitual da zona do aquífero sob consideração. Fonte: Adaptado de SURESH BABU *et al.*, 2008.



## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

#### 4.1.1 Ensaios de condutividade hidráulica

Ensaios de permeabilidade são frequentemente realizados com a finalidade de se determinar a condutividade hidráulica de aquíferos. Esta representa o grau de facilidade com o qual a água escoar no meio e tem um importante papel, em regiões onde há contaminação de água subterrânea, porque influencia a taxa na qual a água pode ser bombeada para tratamento/descontaminação e utilização.

Os ensaios de permeabilidade em solos/sedimentos podem ser classificados conforme a maneira de realização: em nível constante ou variável. Nesse estudo foi realizado ensaio em nível constante por meio do teste de *slug*.

Ensaios em nível constante são realizados por meio da manutenção do nível d'água numa posição constante ao longo de toda duração do ensaio, possibilitando sua execução com a introdução (ensaios de infiltração) ou retirada de água (ensaios de bombeamento). Nos ensaios de infiltração, é aplicada uma carga (constante), medindo-se a vazão injetada necessária para manter tal nível constante. Nos ensaios de bombeamento, o aquífero é descarregado, medindo-se a vazão bombeada necessária para manter constante o nível rebaixado. Nos ensaios em nível variável, o nível d'água natural é deslocado para uma posição denominada nível inicial do ensaio. A tendência do nível d'água voltar à posição original é acompanhada ao longo do tempo de ensaio (OLIVA, 2006).

O teste de *slug* é uma alternativa para se realizar o teste de aquífero em poços de pequeno diâmetro. Este tipo de teste pode ser utilizado para determinar a condutividade hidráulica da formação nas vizinhanças do poço. A taxa a qual o nível de água rebaixa ou eleva é medida. Após as leituras, os dados são analisados e interpretados por meio de um método apropriado (FETTER, 2001). No tópico 5.1, é apresentada a metodologia utilizada no teste de *slug*.

Neste estudo, foram utilizados dois tipos de ensaios de permeabilidade para determinação da condutividade hidráulica: teste de *slug* e análise granulométrica.

#### 4.1.2 Porosidade efetiva

A relação entre os espaços abertos (vazios) e o volume total de um solo ou rocha é referida como sua porosidade. Esta é expressa tanto como fração decimal ou como percentagem (HEATH, 1982).

Assim tem-se:

$$\eta_{ef} = \frac{V_t - V_s}{V_t} = \frac{V_v}{V_t}, \text{ onde:}$$

$\eta_{ef}$  = porosidade efetiva (fração decimal)

$V_t$  = volume total da amostra de solo ou rocha

$V_s$  = volume de sólidos na amostra

$V_v$  = volume de abertura (vazios) = volume de água drenada por gravidade

Sob condições de campo, a disponibilidade de vazios nunca é equivalente à porosidade, pois a água e outros fluídos são retidos por causa de forças capilares. Esse volume retido é denominado porosidade efetiva. A porosidade efetiva é o volume verdadeiro que os fluidos são capazes de escoar dentro do solo ou rocha. Embora a porosidade total geralmente aumente com a diminuição dos grãos, a porosidade efetiva geralmente se reduz com a diminuição do tamanho dos grãos. Portanto, o volume capaz de transmitir o fluído diminui com a diminuição do tamanho do grão. A diferença entre a porosidade total e a porosidade efetiva é descrita pelo termo rendimento específico (API, 2004). Rendimento específico expressa quanta água está disponível para uso humano, e retenção específica expressa quanta água está retida na rocha ou no solo após ser drenada por gravidade (HEATH, 1982).

$$\eta_T = \eta_{ef} + S_r, \text{ onde:}$$

$$S_r = \frac{V_s}{V_t}$$

$\eta_T$  = porosidade total

$V_s$  = volume de água retido

$S_r$  = retenção específica

#### 4.1.3 Potenciometria e fluxo de água subterrânea

Segundo Feitosa e Manoel Filho (1997), para carga hidráulica, a energia mecânica de um fluido é composta basicamente de três componentes: a energia cinética; a energia potencial gravitacional e a energia de pressão. As suas expressões matemáticas são descritas a seguir.

$$E_c = \frac{1}{2} Mv^2 \quad (1)$$

$$E_g = Mg.z \quad (2)$$

$$E_p = PV \quad (3)$$

Algumas vezes, costuma-se trabalhar com energia por unidade de massa. Dividindo-se cada termo pela massa, a energia mecânica total para massa unitária é:

$$\frac{E_m}{M} = \frac{1}{2} v^2 + gz + \frac{P}{\rho}, \text{ onde:} \quad (4)$$

$\rho$  = massa específica (M/V)

M = massa

V = volume

P = pressão

No caso de água subterrânea, as velocidades são muito pequenas (da ordem de alguns centímetros por dia), e o termo da energia cinética pode ser desprezado. Chamando a energia mecânica por unidade de massa de potencial hidráulico ( $\phi$ ), tem-se:

$$\phi = gz + \frac{p}{\rho}, \text{ onde:} \quad (5)$$

$\phi$  é chamado de potencial de forças ou potencial do fluido e obedece a condição de potencial definida pelos físicos e matemáticos. Hubbert (1940) definiu potencial hidráulico como uma quantidade física, capaz de ser medida em cada ponto do escoamento, cujas propriedades são tais que o escoamento sempre ocorre dos pontos com maior potencial para os pontos com menor potencial, independentemente da direção do espaço.

A pressão  $P$  é dada por  $P = P_0 + \rho g (h - z)$  e, como na hidrogeologia considera-se  $P_0$  (pressão atmosférica) como nula, tem-se:

$$\phi = gz + \frac{\rho g (h - z)}{\rho} \quad (6)$$

$$\phi = g.h$$

O potencial hidráulico em um ponto qualquer é simplesmente a carga hidráulica do ponto ( $h$ ) multiplicada pela aceleração da gravidade ( $g$ ). Como na superfície terrestre  $g$  é praticamente constante,  $\phi$  e  $h$  são perfeitamente correlacionáveis e a carga hidráulica pode ser considerada um potencial do ponto de vista físico e matemático.

Combinando-se (5) e (6) e dividindo-se esses termos por  $g$ , obtém-se a expressão do cálculo da carga hidráulica:

$$h = z + \frac{P}{\rho g} \text{ ou} \quad (7)$$

$$h = z + \frac{P}{\gamma} \quad (8)$$

A carga hidráulica, conforme é apresentado na FIGURA 6, é a soma de duas parcelas: a carga de elevação  $z$  (altitude ou cota do ponto) e a carga de pressão,  $P/\gamma$  (metros de coluna d'água acima do ponto).

Em termos práticos, no caso de aquíferos não confinados, a carga na superfície livre (onde a pressão  $P$  é nula, por ser a pressão atmosférica de referência) corresponde ao próprio nível d'água ( $h = z$ ), e no caso de aquíferos confinados, a carga no topo (tomado como referência) é dada pela carga de pressão ( $P/\gamma$ ), que corresponde à altura até onde o nível da água se elevará, acima do topo do aquífero, quando perfurado um poço no local.

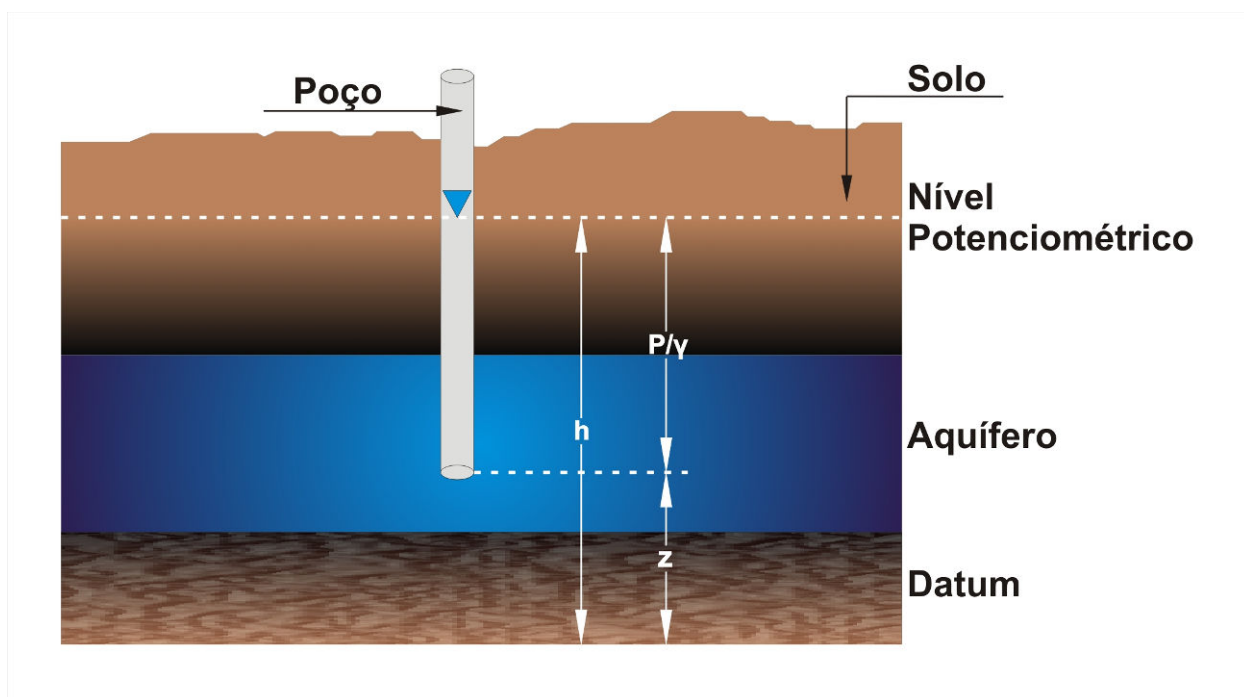


FIGURA 6. Carga hidráulica em um ponto do aquífero (no fundo do poço) expressa pelo nível potenciométrico. Fonte: Adaptado de Feitosa e Manoel Filho, 1997.

Numa região onde existem diversos poços, é possível traçar isolinhas das cargas hidráulicas para a representação da superfície potenciométrica (ou superfície piezométrica). É importante lembrar que a representação da superfície só faz sentido em aquíferos horizontais com fluxo horizontal.

## 4.2 POTENCIAL REDOX - ORP

Segundo Custódio e Llamas (2001), entre os processos de dissolução de sais pelo ataque da água aos minerais, é de grande interesse aqueles processos em que são envolvidas substâncias que alteram ou podem alterar seu estado de valência, oxidando-se algumas vezes e reduzindo-se em outras. Tais sistemas denominam-se redox e estão regidos pelas condições de pH, pressão, temperatura, etc. O potencial redox (Eh) do sistema mede a estabilidade de um íon em um nível de oxidação determinado.

É de extrema importância os sistemas nos quais é envolvido o ferro com valências +2 e +3, o enxofre com valências -2 e +6 e intermediários, etc. A existência de oxigênio, matéria orgânica, etc., são fatores de grande importância na evolução e estabilidade dos sistemas redox.

O potencial redox, Eh, mede esta tendência à oxidação-redução e é representado pela equação de *Nernst*:

$Eh = E_0 + (RT/nF) \ln (<Ox>/<Red>)$ , onde:

<Ox> = atividade molar do íon oxidado

<Red> = atividade molar do íon reduzido

Eh = potencial redox em volts

$E_0$  = potencial em volts do eletrodo quando <Ox> = <Red>

R = constante dos gases = 8,32 joules/K . mol

$n$  = alteração de valência na reação (eq – g/mol)

$F$  = número de Faraday = 96.500 Coulombs / eq – g

A 25°C, temos:

$$E_h = E_0 + (0,059/n) \log(<Ox>/<Red>)$$

Na reação  $Fe^{+++} + 1 e^- \rightleftharpoons Fe^{++}$ , o íon oxidado é  $Fe^{+++}$  e o reduzido é  $Fe^{++}$ , sendo  $n=1$ .

Para o eletrodo de hidrogênio ( $H_2 \rightleftharpoons 2 H^+ + 2 e^-$ ),  $E_0 = 0$ . Por comparação com este eletrodo de hidrogênio, obtêm-se os valores de  $E_0$  para outras reações, conforme apresentado a seguir.

Reação	$E_0$ (volts)
$2 H_2O = O_2 + 4 H^+ + 4 e^-$	1,23
$NH_4^+ + 3 H_2O = NO_3^- + 10 H^+ + 8 e^-$	0,84
$Fe^{++} = Fe^{+++} + e^-$	0,77
$4 OH^- = O_2 + 2 H_2O + 4 e^-$	0,25
$H_2 = 2 H^+ + 2 e^-$	0,00
$Fe(OH)_2 + OH = Fe(OH)_3 + e^-$	-0,56

Nestas reações de oxidação-redução, a concentração de  $H^+$ , e, portanto, o pH, desempenha um papel muito importante e é preciso levá-lo em conta. O hidrogênio pode estar em estado oxidado ( $H^+$ ) ou reduzido ( $H_2$ ), e o oxigênio também ( $O^-$  ou  $OH^-$  reduzido e  $O_2$  oxidado).

Na água subterrânea, o pH e o  $E_h$  existentes são tais que não é possível, a liberação de  $O_2$  nem de  $H_2$  procedentes da decomposição da água ( $E_h$  entre +0,700 e -0,480 volts). Os possíveis oxidantes presentes são o oxigênio tomado do ar,  $Fe^{+++}$ ,  $SO_4^-$ ,  $NO_3^-$  e  $Fe(OH)_3$  entre outros, e os possíveis redutores são a matéria orgânica,  $Fe^{++}$ ,  $S^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe(OH)_2$ , etc. Certas reações redox são favorecidas pela

presença de bactérias, sem as quais não seriam possíveis ou transcorreriam muito lentamente.

O Eh mede-se eletricamente utilizando como eletrodo de referência o de calomelano. Deve-se determinar sempre que possível no campo, pois pequenas mudanças nas condições ambientais podem produzir importantes mudanças no seu valor. Ehs positivos indicam um ambiente oxidante, enquanto que Ehs negativos indicam um ambiente redutor.

### **4.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

Segundo Silva (2003), altimetria é a parte da Topometria que se ocupa com as determinações das distâncias verticais ou diferenças de nível.

Chama-se genericamente de “nivelamento” as operações que são executadas em uma determinada região, nas quais colhem-se dados com o objetivo de se determinar a diferença de nível de pontos da superfície em relação a outros.

Existem três tipos de nivelamento: geométrico; trigonométrico e barométrico. O geométrico é o mais exato dos nivelamentos e é realizado por meio de visadas horizontais com um instrumento chamado Nível. O trigonométrico é realizado através de Teodolitos com visadas com qualquer inclinação. O barométrico baseia-se na relação existente entre a pressão atmosférica e a altitude. Tem pouca precisão e há necessidade de se efetuar correções devido à maré barométrica. Dispensa visibilidade entre os pontos a nivelar e utiliza aneróides para a determinação da pressão atmosférica no campo.

### **4.4 GRANULOMETRIA**

Sedimentos de granulação grossa representam evidências fortes de boa produção de água subterrânea. Em contrapartida, argilas estão em lados opostos e, por isso, são frequentemente utilizadas para propósitos de engenharia, como, por exemplo,



para impermeabilizar áreas de disposição de resíduos devido a sua baixa permeabilidade. Na Tabela 2, são apresentadas as variações dos valores de permeabilidade e condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados.

TABELA 2. Intervalos de permeabilidade e condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados (Modificado de FETTER, 2001)

<b>Tipo de Material</b>	<b>Permeabilidade (darcys)</b>	<b>Condutividade Hidráulica (cm/s)</b>
Argila	$10^{-6}$ a $10^{-3}$	$10^{-9}$ a $10^{-6}$
Silte, areia siltosa, areia argilosa	$10^{-3}$ a $10^{-1}$	$10^{-6}$ a $10^{-4}$
Areia siltosa, areia fina	$10^{-2}$ a 1	$10^{-5}$ a $10^{-3}$
Areia de grãos bem selecionados, flúvio-glacial	1 a $10^2$	$10^{-3}$ a $10^{-1}$
Seixos bem selecionados (cascalho)	10 a $10^3$	$10^{-2}$ a 1

A permeabilidade intrínseca é uma função do tamanho do poro aberto entre os grãos. Quanto menor o tamanho do sedimento dos grãos, maior a área de superfície de contato com a água. Isto aumenta a resistência do atrito para o fluxo, o qual reduz a permeabilidade (FETTER, 2001). A FIGURA 7 mostra a relação entre o tipo de material e a condutividade hidráulica.

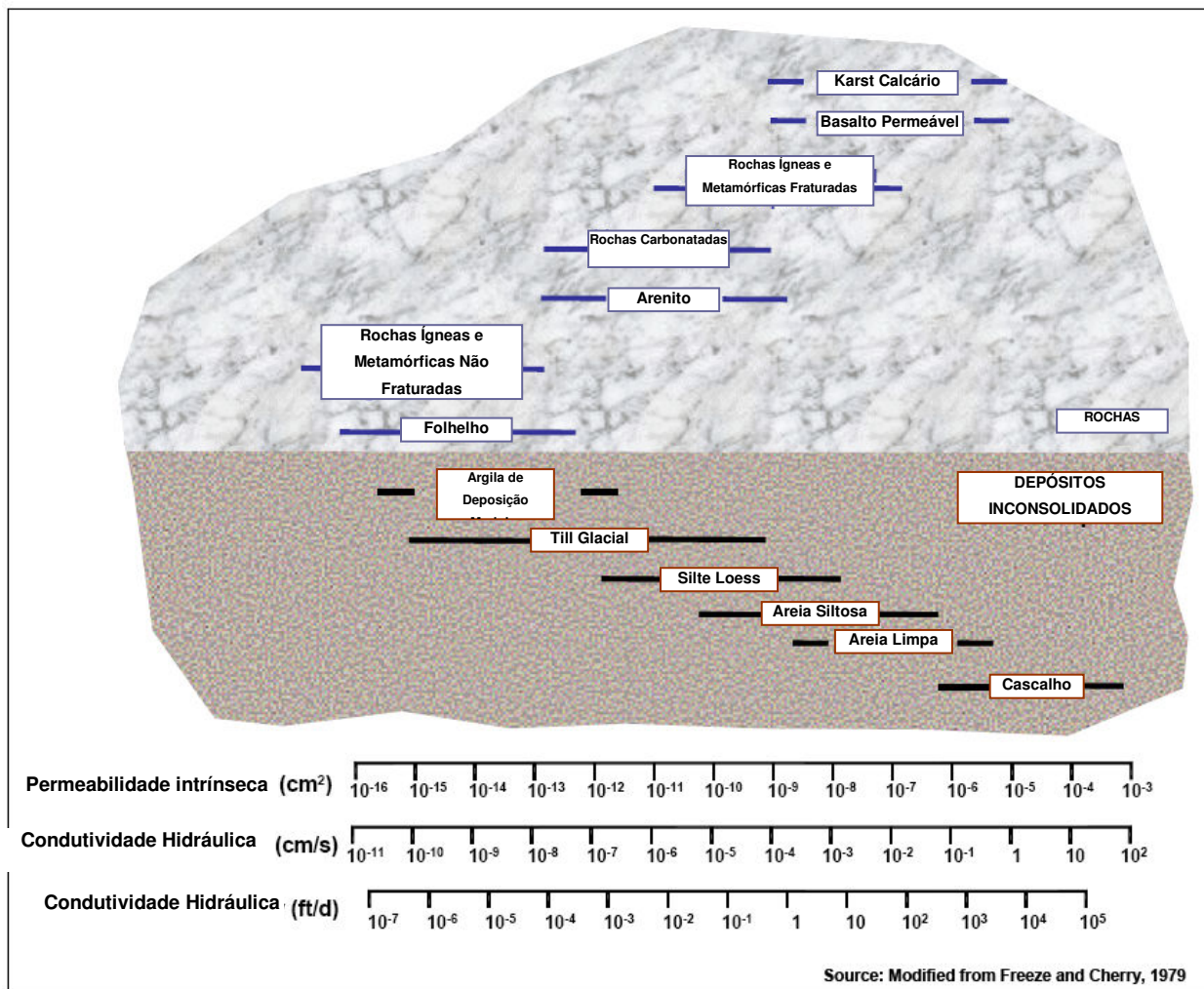


FIGURA 7. Intervalos de valores para condutividade hidráulica e permeabilidade. Fonte: Modificado de API, 2004.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

As metodologias deste trabalho compreenderam as fases de revisão bibliográfica, que incluiu o levantamento dos principais trabalhos científicos e teses de hidrogeologia e geologia relacionados à região do município de Pontal do Sul - PR, de levantamento e de dados gerados por meio de ensaios de campo. Os materiais que serviram a esta pesquisa foram aqueles que são comum e amplamente utilizados no mercado; outros, desenvolvidos exclusivamente para a instalação dos poços de monitoramento e piezômetros, utilizados na fase de coleta dos dados e, finalizando, na fase de tratamento e análise dos dados gerados na instalação dos poços e piezômetros. Ensaios de permeabilidade são frequentemente utilizados para se determinar a condutividade hidráulica. Neste estudo, foram realizados dois tipos de ensaios que utilizaram diferentes métodos descritos a seguir.

### 5.1 TESTE DE SLUG

A condutividade hidráulica neste estudo foi determinada por meio de ensaio de permeabilidade em nível variável (zona saturada). Neste ensaio, aplicou-se uma carga e/ou descarga com a introdução súbita de um volume conhecido (tarugo cilíndrico de PVC) dentro do piezômetro, de forma que o nível d'água (N.A.) fosse elevado ou rebaixado instantaneamente. Para exeqüibilidade do teste, foram instalados 05 piezômetros com PVC, no diâmetro de 2", e aplicou-se o teste em três deles. Quando o volume de água é removido, o ensaio é chamado de *bail test*, e, quando é adicionado, de *slug test*. Na FIGURA 8, é mostrado de forma esquemática o ensaio realizado.

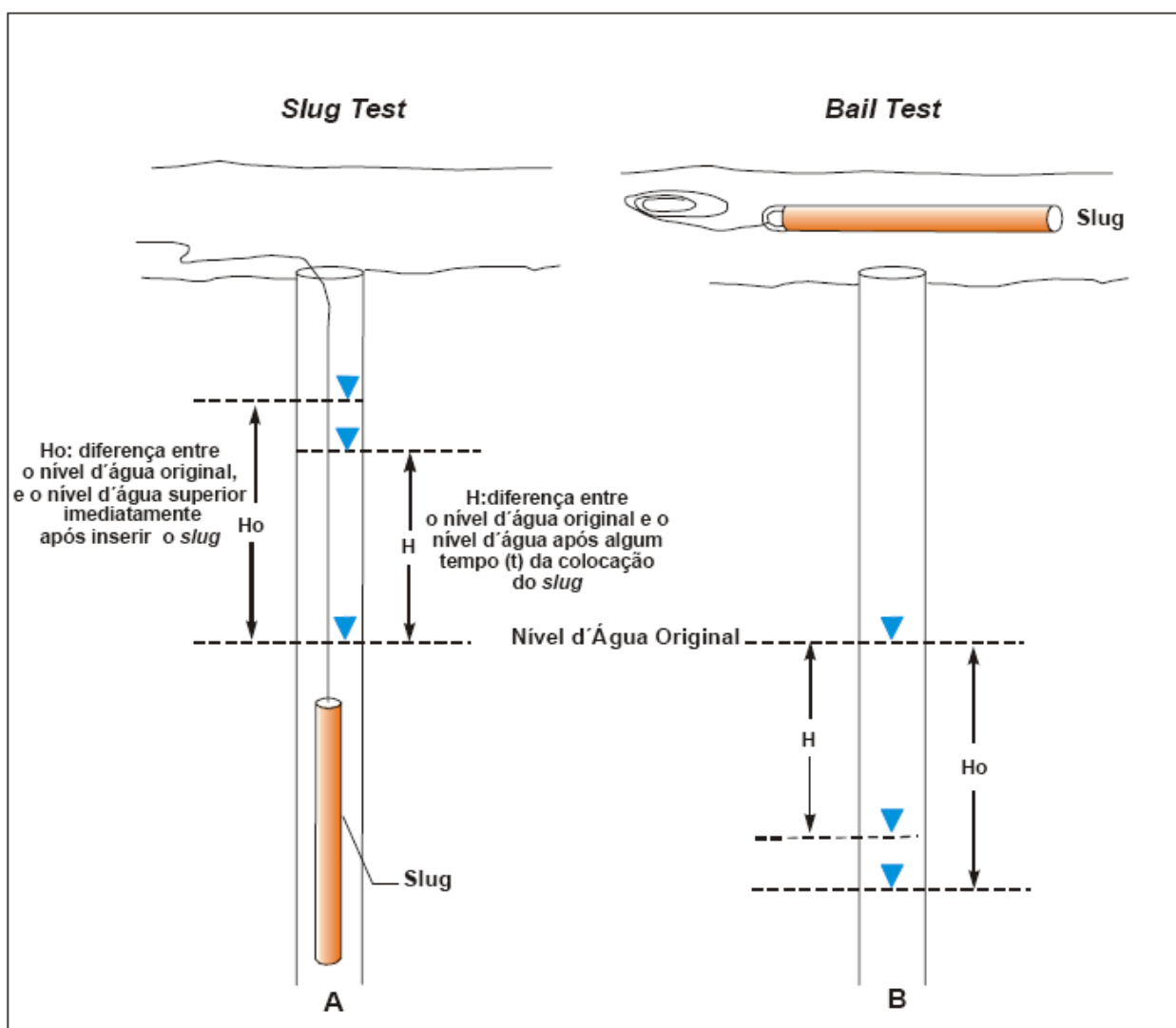


FIGURA 8. (A) *Slug Test* e (B) *Bail Test*. Fonte: (OLIVA, 2006).

Inicialmente, lê-se o nível d'água no interior do piezômetro (N.A.) e, para tal, utilizou-se um medidor de nível d'água eletro-eletrônico, dotado de fita métrica da marca *Heron Instruments*, modelo *dipper-T Water Level Meter*.

A estabilização do N.A., quando lenta, pode ser medida manualmente pelo medidor do nível da água. Contudo, quando esta estabilização leva poucos segundos, é necessária a utilização de transdutores de pressão que tenham capacidade de medir a variação do N.A. a cada segundo. Este tipo de transdutor transforma a coluna d'água (pressão) em sinal elétrico, que, por sua vez, é convertido em sinal digital por um aparelho receptor. Este sinal pode ser armazenado em *data logger* externo ou computador (OLIVA, 2006). Para a realização dos testes, utilizou-se um tarugo maciço de PVC de 2 cm de diâmetro e 61 cm de comprimento. A medição do N.A. foi efetuada com um transdutor de pressão da marca DRUCK, acoplado a um *notebook*. A leitura e o armazenamento dos níveis d'água foram efetuados automaticamente, utilizando o *software WinSlug®*.

Na FOTO 1, pode ser visualizado o conjunto de equipamentos utilizados na execução do teste.

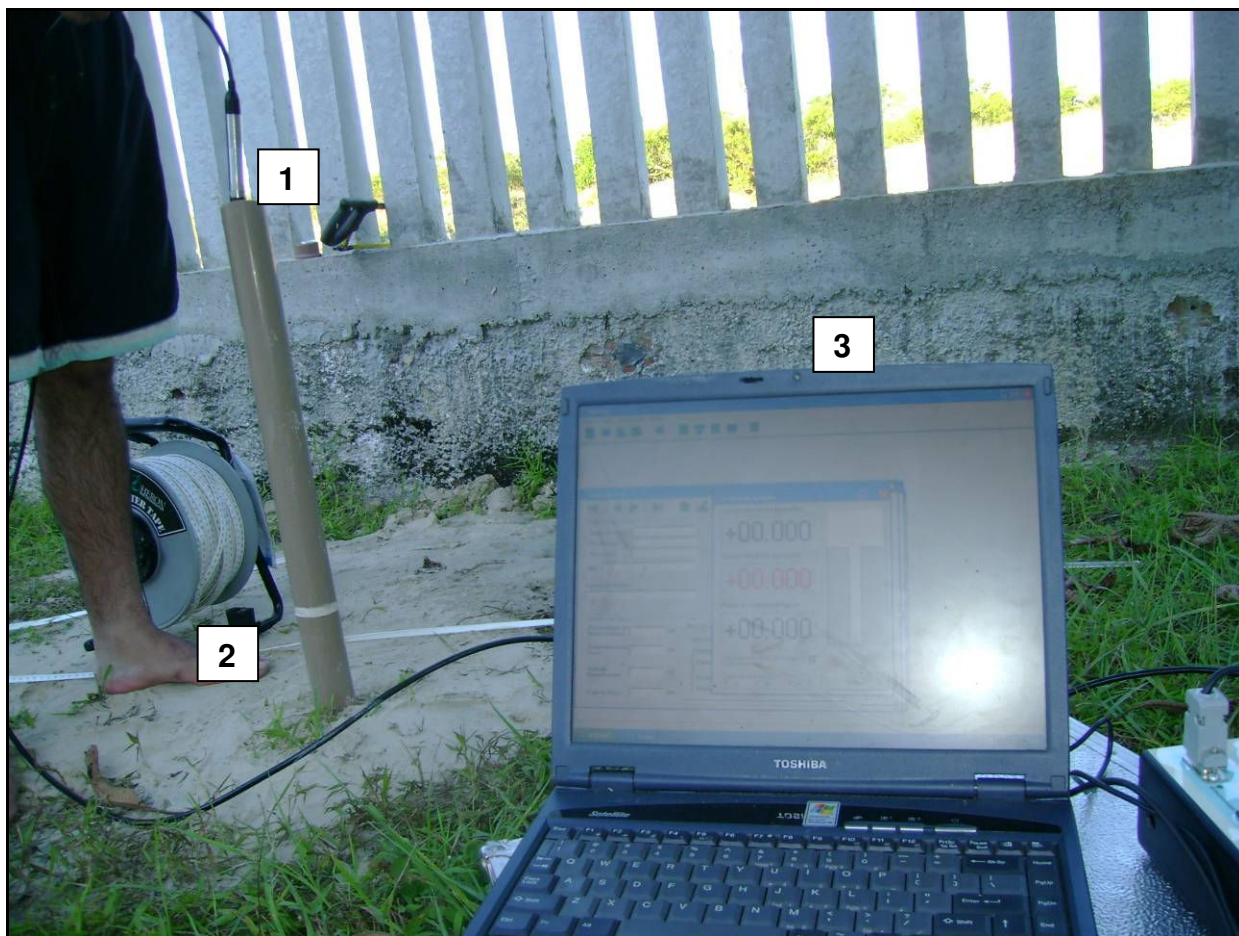


FOTO 1. (1) transdutor de pressão, (2) medidor de nível d'água (3) *laptop* utilizado para armazenamento dos dados gerados durante o teste.

Na prática, o teste de *slug* consiste em introduzir ou retirar um cilindro sólido (*slug*) dentro de um poço de monitoramento de pequeno diâmetro, de forma que o nível d'água no poço seja elevado ou rebaixado quase instantaneamente (PEDE, 2004). O resultado do monitoramento da posição do nível d'água em relação ao tempo é uma curva de rebaixamento ou recuperação do N.A., que, em conjunto com os dados de geometria do poço, fornece o valor da condutividade hidráulica.

Um método conveniente para interpretar os dados de nível d'água em função do tempo e determinar a condutividade hidráulica da formação, tanto para *slug test* quanto para *bail test*, pode ser obtido pelo método de Hvorslev (1951). Na FIGURA 9 pode se observar esquematicamente a aplicação do método utilizado neste estudo.

Outro método bastante utilizado foi desenvolvido por H. Bouwer (BOUWER; RICE, 1976). Nesse método, os poços podem ser total ou parcialmente penetrantes.

Embora esse teste foi originalmente desenvolvido para aquíferos não confinados, ele pode ser usado também para aquíferos confinados, desde que o topo do filtro esteja alguns metros abaixo da parte inferior da camada confinante (FETTER, 2001).

### **Método de Hvorslev**

A determinação da condutividade hidráulica pelo método de *Hvorslev*, FIGURA 9, é efetuada por meio da seguinte fórmula:

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e / R)}{2L_e T_0} ,$$

onde:

K = condutividade hidráulica

r = raio do revestimento

R = raio do poço

$L_e$  = comprimento do filtro saturado

$T_0$  = tempo que leva para o nível d'água cair 37% da variação inicial

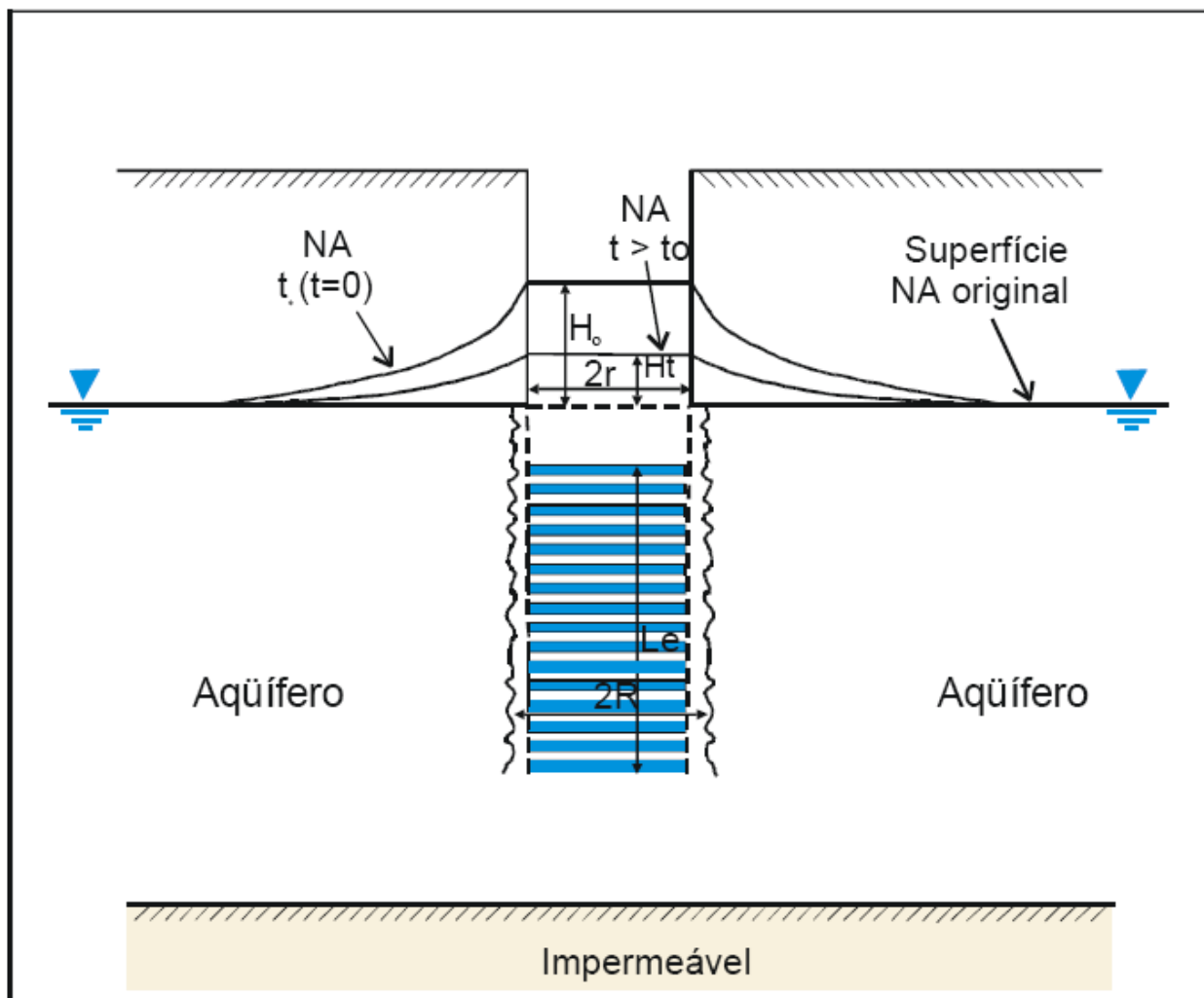


FIGURA 9. Desenho esquemático ilustrando o teste de *slug* com os parâmetros geométricos, necessárias para estimar a condutividade hidráulica pelo método de *Hvorslev*. Fonte: (OLIVA, 2006).

### Método de *Bouwer e Rice*

O mais utilizado método de teste de *slug* foi desenvolvido por H. Bouwer (Bouwer; Rice, 1976; Bouwer, 1989). Esse teste pode ser utilizado para furos de sondagem ou poços que tenham seção filtrante. Os poços podem ser totalmente ou parcialmente penetrantes (FETTER, 2001).

A determinação da condutividade hidráulica pelo método de Bouwer e Rice (1976) (FIGURA 10) pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$K = (r_c^2 \ln(R_e/R)) / (2L_e \times (1/t) \ln(H_0/H_t))$$

$\ln(R_e/R) = [1.1/\ln(L_w/R) + [A+B \ln[(h - L_w)/R]]/(L_e/R)]^{-1}$ , quando  $L_w = h$  temos:



$\ln(R_e/R) = [1.1/\ln(L_w/R)) + (C/(L_e/R))]^{-1}$ , onde:

$K$  = condutividade hidráulica (L/T; ft/d, m/d, ou cm/s)

$r_c$  = raio do revestimento (L; ft, m, ou cm)

$R$  = raio do poço (L; ft, m, ou cm)

$R_e$  = distância radial efetiva em que a carga é dissipada (L; ft, m, ou cm)

$L_e$  = comprimento do filtro ou intervalo por onde a água se infiltra (L; ft, m, ou cm)

$L_w$  = distância da superfície d'água à base do filtro (L; ft, m, ou cm)

$H_0$  = rebaixamento no tempo  $t = 0$  (L; ft, m, ou cm)

$H_t$  = rebaixamento no tempo  $t = t$  (L; ft, m, ou cm)

$T$  = tempo decorrido após  $h = 0$  (T; d ou s)

A, B e C = são valores adimensionais obtidos por meio da relação  $L_e/R$ .

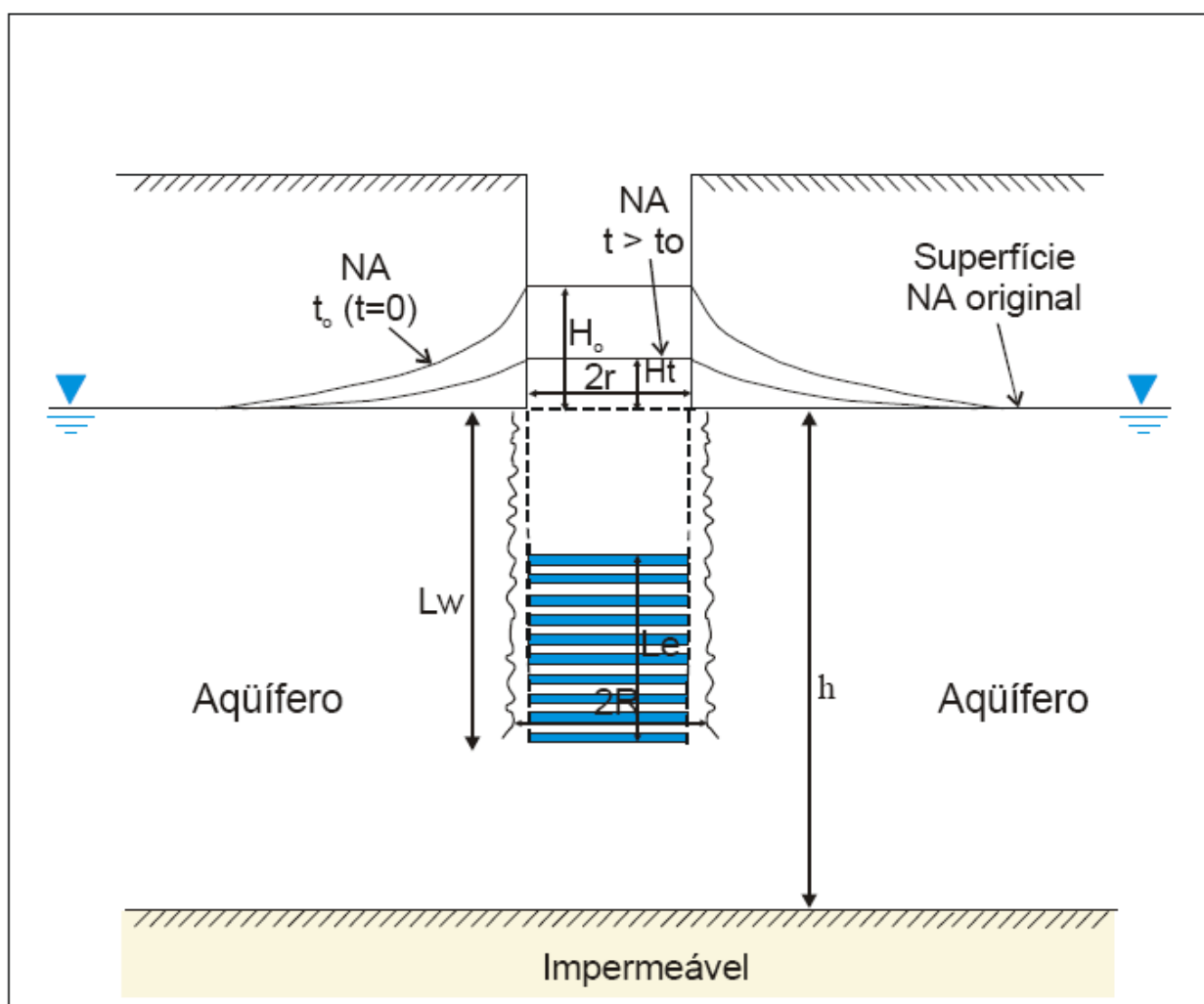


FIGURA 10. Desenho esquemático ilustrando o teste de *slug* com os parâmetros geométricos necessários para estimar a condutividade hidráulica pelo método de Bouwer e Rice (1976). Fonte: (OLIVA, 2006).



O valor do raio do revestimento  $r_c$  passa por uma correção devido à porosidade do pré-filtro, utilizando a seguinte fórmula (BOUWER, 1989):

$$r'_c = ((1 - n)r_c^2 + nR)^{1/2}, \text{ onde:}$$

$r'_c$  = raio do revestimento já corrigido (L; ft, m, ou cm)

$r_c$  = raio do revestimento original (L; ft, m, ou cm)

$n$  = porosidade do pré-filtro (entre 0 e 1)

$R$  = raio do poço (L; ft, m, ou cm)

Os testes de *slug* foram realizados após o desenvolvimento prévio dos piezômetros, com o objetivo de diminuir a presença de finos que entrou durante a perfuração. Para tanto, foram utilizados *bailers* descartáveis (amostradores de PVC) e construiu-se um equipamento constituído de válvula de sucção da marca DOCOL 3/4" acoplado a um tubo de PVC de 3/4" e uma mangueira de polietileno, (FOTO 2).

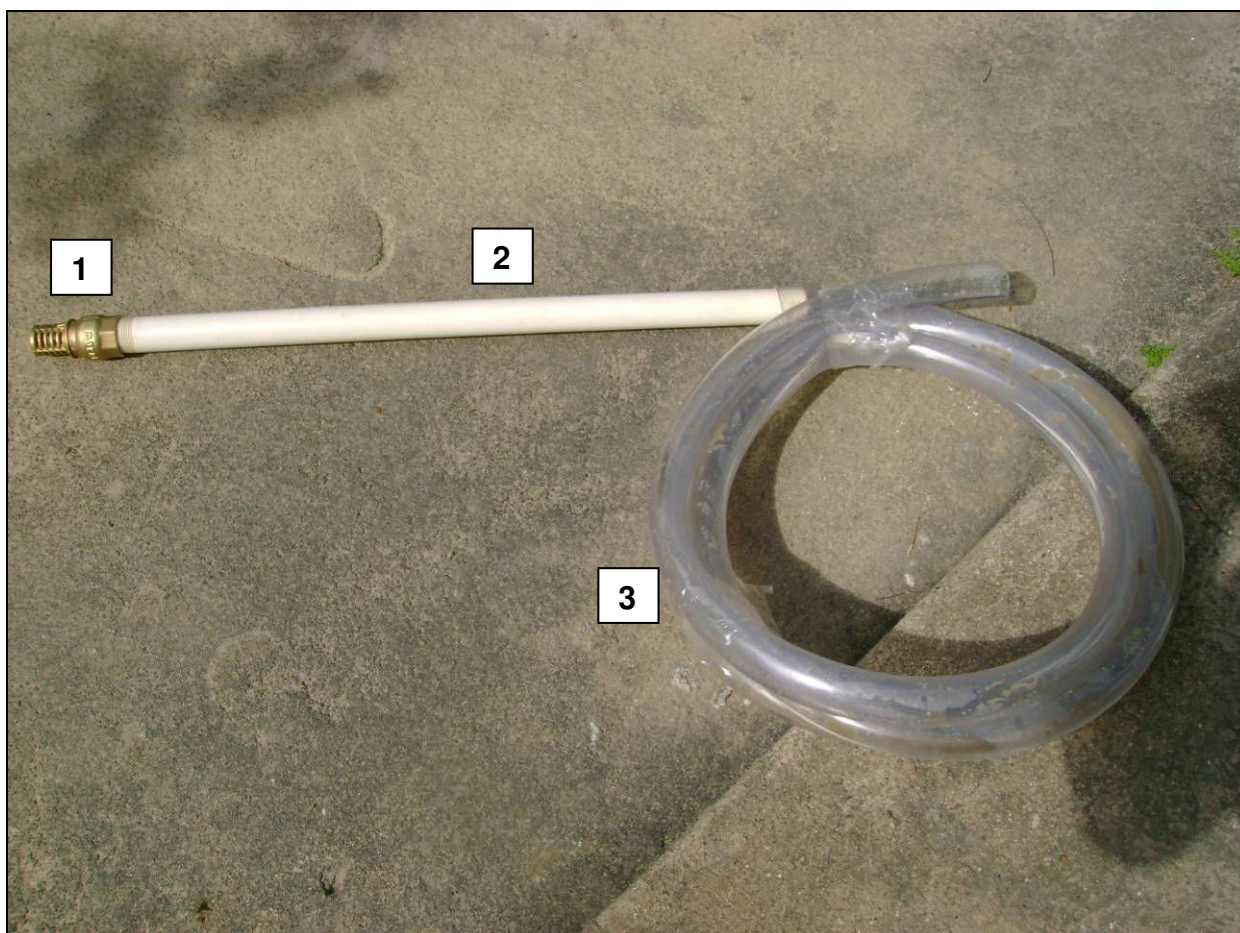


FOTO 2. Equipamento construído para desenvolvimento dos piezômetros e poços de monitoramento. (1) Válvula de sucção, (2) tubo de PVC e (3) mangueira de polietileno.

Os testes foram realizados em três poços: dois localizados dentro do campus do CEM da UFPR, PCH 01 e PCH 02; e um localizado na área de restinga, em frente ao CEM, no PCH 05.

As leituras, o armazenamento e a interpretação dos dados obtidos durante a realização dos testes foram efetuados automaticamente por meio do *software* Winslug® (CHANG; CARRIER-NETO, 2000).

## 5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A condutividade hidráulica também pode ser determinada por meio da distribuição na curva granulométrica dos sedimentos arenosos através dos métodos de *Hazen* (1911) e *Shepherd* (1989). Deste modo, realizou-se ensaios de granulometria em quatro amostras de solo. Essas amostras foram coletadas em diferentes

profundidades quando da perfuração do piezômetro PCH 03. Para os ensaios de granulometria, utilizou-se o método da ABNT NBR 6502/95, e as amostras foram preparadas e analisadas pelo laboratório INNOLAB, localizado na cidade do Rio de Janeiro-RJ.

O método de *Hazen* é aplicado a areias em que o diâmetro efetivo do grão ( $d_{10}$ ), diâmetro correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele, situa-se aproximadamente entre 0,1 e 3,0 mm. Utiliza-se a fórmula a seguir para cálculo da condutividade hidráulica para o método de *Hazen*.

$K = C(d_{10})^2$ , onde:

$K$  = condutividade hidráulica (cm/s)

$d_{10}$  = diâmetro efetivo do grão (cm)

$C$  = valor adimensional que pode ser obtido experimentalmente

O método de *Shepherd* considera que a condutividade hidráulica está relacionada ao diâmetro e à maturidade dos grãos, conforme mostrado na FIGURA 11.

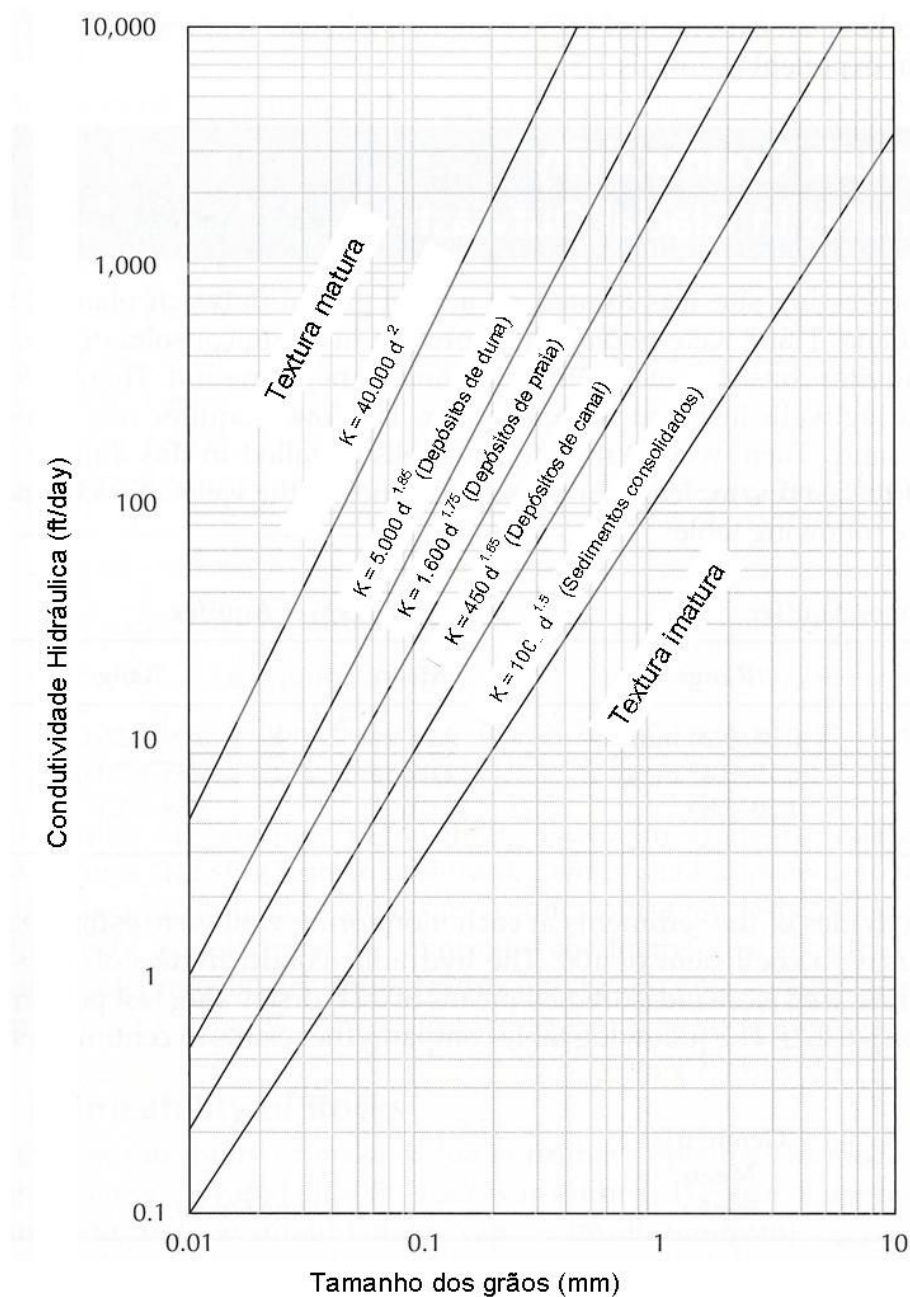


FIGURA 11. Gráfico mostrando a relação da condutividade hidráulica para a média do diâmetro dos grãos para sedimentos de diferentes maturidade textural. Fonte: Modificado de FETTER, 2001.

*Shepherd* (1989) analisou dados de 18 estudos publicados, nos quais a condutividade hidráulica tinha sido relacionada ao tamanho dos grãos. Ele descobriu que todos os estudos poderiam ser relacionados à fórmula geral:

$$K = C d_{50}^j, \text{ onde:}$$

$C$  = fator de ajuste, obtido experimentalmente

$d_{50}$  = diâmetro efetivo do grão (mm)

$j$  = expoente obtido experimentalmente

O fator  $C$  está relacionado à forma dos grãos de areia, e o expoente  $j$ , com a textura. Grãos texturalmente maduros têm um expoente maior e estão relacionados ao grau de arredondamento de uma partícula (grãos) que é analisada por meio da observação da presença ou não de angularidade na superfície externa do grão (BARROS *et al.*, 2007). Portanto, graus de arredondamento não muito altos e esfericidade média a baixa indicam pouca maturidade dos grãos. A maturidade normalmente aumenta com a duração do transporte e retrabalhamento. Uma curta distância de transporte do grão desde a sua origem evidencia grãos com poucas alterações abrasivas.

As amostras de solo para determinação da densidade aparente, densidade real, porosidade efetiva e total foram realizadas através do Método de Análise de Solo 2ª edição da Embrapa. Já para determinação da foc foi utilizado o método MA-026-L2.

### **5.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO**

Para a determinação da cota dos piezômetros, visando à elaboração do mapa potenciométrico, utilizou-se o método de nivelamento geométrico por ser considerado o método mais preciso entre os tipos de nivelamento e especialmente pelo fato de a área de estudo tratar-se de uma planície costeira, com baixas variações topográficas. Para tal, utilizou-se um nível da marca LEICA, modelo NA 820, e uma mira de alumínio (FOTO 3).



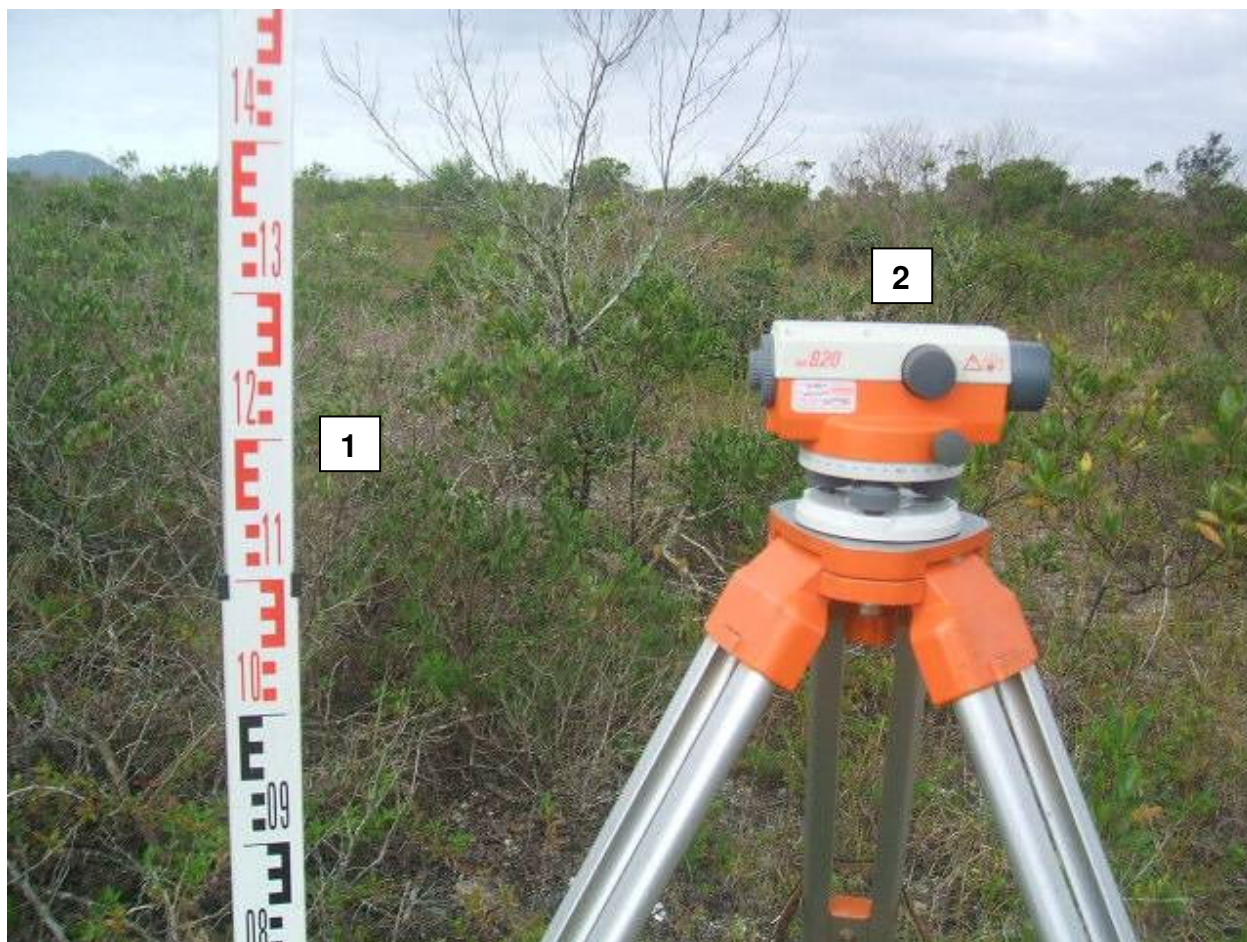


FOTO 3. Equipamento utilizado no nivelamento geométrico. (1) Mira, (2) Nível.

Esse método consiste em colher os dados por meio de visadas horizontais, criando um plano horizontal e, dessa forma, determinar as interseções deste plano com uma série de verticais levantadas nos pontos a nivelar e, em seguida, obter a distância vertical desses pontos ao plano de referência. O ponto de referência é também chamado de Referência de Nível ou simplesmente R.N. Neste trabalho, foi utilizada a R.N. da Portobrás existente dentro das instalações do CEM.

As cotas geradas a partir do nivelamento geométrico foram aferidas por meio de estação total. O equipamento utilizado foi um equipamento da marca LEICA, modelo TC407.

Para se calcular as cotas ou altitudes dos pontos a nivelar, é necessário conhecer a cota ou altitude do ponto inicial (por exemplo, ponto A). Então, a cota de A será conhecida ou arbitrada, e o ponto A passa a chamar-se de RN, ou seja, Referência de Nível.  $A = RN$ .

Para a determinação da altura do plano de visada (APV), que seria a cota ou altitude do plano criado pelo instrumento, precisa-se levantar a leitura de ré.

$$APV = C_{RN} + \text{Leitura de Ré RN} \rightarrow APV = C_A + \text{Leitura de Ré A}$$

Leitura de Ré – é uma leitura feita a um ponto cuja cota ou altitude é conhecida. No caso, já conhecemos a cota de A. **A leitura de ré serve somente para o cálculo do APV.**

Para calcular a cota dos demais pontos, usamos a seguinte fórmula:

$$\text{Cota B} = APV \text{ I} - \text{Leitura de Vante B} \rightarrow C_B = APV \text{ I} - V_B$$

Leitura de Vante – é uma leitura a um ponto de cota ou altitude desconhecida. **A leitura de vante serve para o cálculo da cota do ponto.** Na FIGURA 12, é mostrado, esquematicamente, como se faz o caminhamento para o cálculo das cotas.

$$\text{Cota C} = APV \text{ I} - VC; \text{Cota D} = APV \text{ I} - VD$$

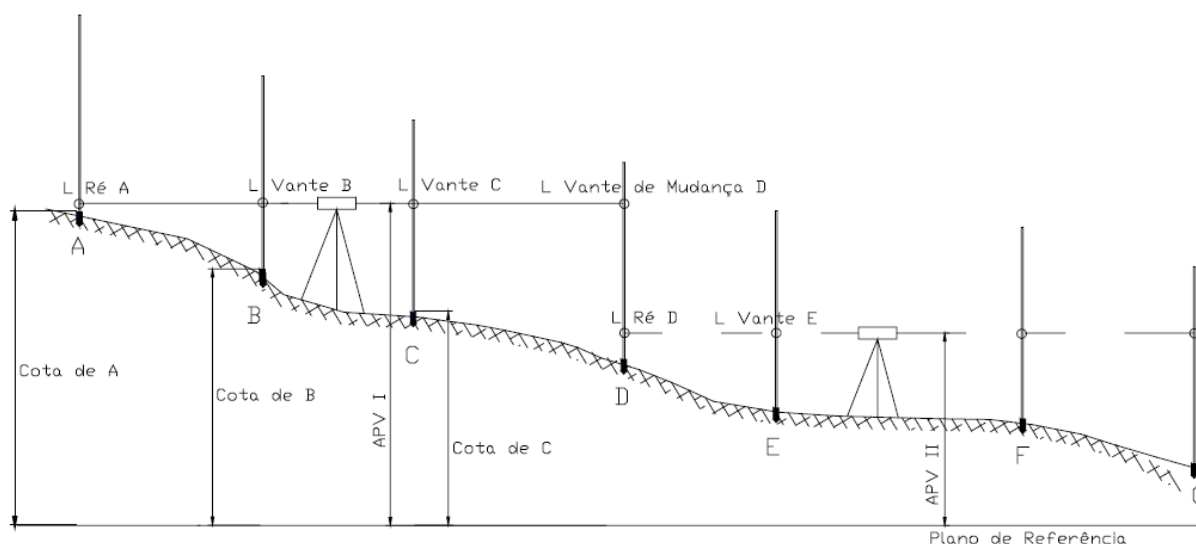


FIGURA 12. Desenho esquemático para cálculo das cotas. Fonte: (SILVA, 2003).

Da estação I somente foi possível ler-se até o ponto D. Foi necessário mudar a estação para a posição II. Uma vez instalado o aparelho na estação II, a primeira

atitude que se deve tomar é determinar a nova altura do plano de visada, APV II, fazendo-se uma visada de ré no ponto D.

$$APV II = CD + Ré D$$

Leitura Vante de Mudança é uma leitura feita a um ponto que de uma estação é realizada a leitura de Vante e da estação seguinte será feita uma leitura de Ré neste mesmo ponto. Exemplo:

ponto “D”.

$$C_E = APV II - V_E$$

$$C_F = APV II - V_F$$

$$C_G = APV II - V_G$$

#### **5.4 PERFURAÇÃO, INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS E COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO**

O método de perfuração utilizado para instalação dos piezômetros foi por meio de trado manual de diâmetro de 4”. Nesse método, é utilizado uma ferramenta em espiral que traz o material perfurado até a superfície. Mecanicamente, um trado consiste em uma longa haste metálica com uma fixação mecânica para aplicação de torque para rotação da ferramenta. Esse método de perfuração não necessita de circulação de fluidos. Esse método foi escolhido devido ao tipo de solo a ser perfurado, areia, bem como a profundidade do N.A. que se encontra a superfície freática.

Após a perfuração, os tubos foram instalados abaixo do N.A. e cravados até onde foi possível (em média, o método utilizado para cravar o tubo possibilitou um ganho de aproximadamente 20 a 30 cm a mais de aprofundamento).

Os piezômetros foram instalados com tubos de PVC com diâmetro de 2”. Não foram utilizados pré-filtros devido ao tipo de solo encontrado na área, areia de grãos bem selecionados. Os filtros foram ranhurados manualmente por meio de serra de aço



(aproximadamente entre 0,2 a 0,5 mm abertura das ranhuras). Na FOTO 4, é mostrado em detalhe como foram realizadas as ranhuras.

As amostras de solo foram coletadas em profundidades distintas e em perfurações em que se notava mudança visual das características do solo perfurado devido à uniformidade do tipo de solo encontrado na área. Dessa maneira, foram coletadas 10 amostras em três poços distintos (PCH 01, PCH 02 e PCH 03). A localização onde foram coletadas as amostras de solo pode ser visualizada na FIGURA 15.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente lacrados, identificados (profundidade em que a amostra foi coletada e nome do piezômetro) e, posteriormente, encaminhadas ao laboratório para análise granulométrica. Na FOTO 5, é mostrado como as amostras foram acondicionadas.



FOTO 4. Detalhe da realização das ranhuras.



FOTO 5. Amostras de solo coletadas.

## 5.5 PERFURAÇÃO, INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

O método de perfuração utilizado para a instalação dos poços de monitoramento utilizou um equipamento especialmente desenvolvido para perfuração quando esta chegava na profundidade onde se encontrava o nível d'água, onde se usou um equipamento que conjugou os métodos à percussão e lavagem do furo com a própria água da formação aquífera. A partir do nível d'água instalou-se um tubo de revestimento geomecânico para dar sustentação à parede da perfuração. O

equipamento perfurante consistiu de um tubo metálico de 4" de aproximadamente setenta centímetros, uma esfera e uma haste metálica que era sustentada por uma corda de náilon *que* auxiliou no movimento de percussão e retirada do material arenoso que ficava contido dentro do tubo metálico, como resultado do avanço da perfuração, conforme é mostrado na FOTO 6.



FOTO 6. Material da perfuração retirado e tubo geomecânico utilizado como revestimento.

Após a perfuração, inseriu-se dentro do tubo de revestimento um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro, ranhurado, conjuntamente com o pré-filtro. O pré-filtro constituiu de areia bem selecionada de diâmetro de 1 mm. Em seguida, sacou-se o tubo de revestimento. Para acabamento do poço, foi construído uma câmara de calçada com laje sanitária, calda de cimento para selagem do poço e foi utilizada uma caixa metálica com cadeado para prover segurança aos equipamentos (*Mini-Diver®* e *Baro-Diver®*) que lá permaneceram durante todo período de monitoramento. No anexo A4, é apresentado o perfil construtivo do poço de monitoramento. A localização dos poços de monitoramento pode ser visualizada por meio da FIGURA 17. O PMCH 01 encontra-se a 0,20 m do PCH 01, o PMCH 04-A e B encontra-se a 0,15 m do PCH 04.

## 5.6 COLETA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DE DADOS DE CAMPO (ORP, PH E EC)

Com o objetivo de se realizar uma caracterização hidrogeológica representativa da área de estudo em condições *in situ*, foi realizada a purga e a amostragem de água dos piezômetros instalados e medições de parâmetros de interesse. O critério de seleção dos métodos de purga e amostragem, aqui utilizados, levou em consideração a exatidão e precisão necessárias para o objetivo a que se destinou, ou seja, de fácil operacionalidade para se trabalhar em condições de campo, por ser um equipamento portátil em relação à aplicação, confiabilidade e durabilidade do teste, pelo diâmetro externo do piezômetro e pelo seu custo de operação (NIELSEN, 2006).

O equipamento utilizado para a coleta das amostras foi o mesmo que se utilizou para realizar a purga (separadamente para cada piezômetro).

Para a purga dos poços, imediatamente após a instalação, foi utilizado o equipamento construído e mostrado anteriormente na FOTO 2. Devido à grande quantidade de finos, foi realizada uma segunda purga utilizando um *bailer* de PVC. O *bailer* é um equipamento muito simples, composto de um corpo tubular (tubo) (1), uma alça de içamento no topo (2) e uma válvula de checagem no pé (3). As partes que compõem um *bailer* é mostrado na FOTO 7.



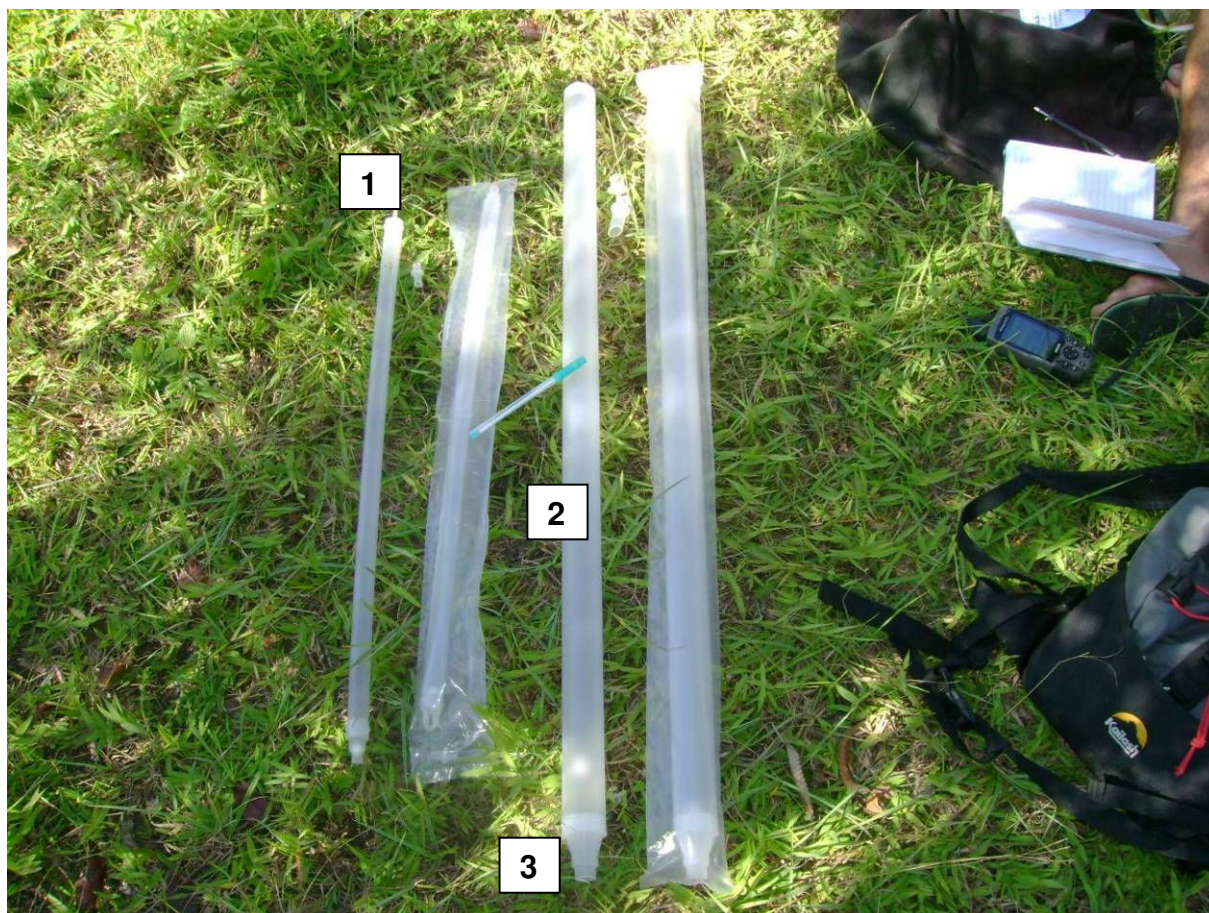


FOTO 7. Bailers de PVC utilizados na purga dos poços e amostragem de água subterrânea.

Com a purga dos poços, objetivou-se garantir que a amostra de água subterrânea fosse representativa da formação e que não estivesse estagnada dentro dos poços. O método utilizado para a purga dos poços foi *ASTM Standard D 6452* (ASTM, 2004 g).

As amostras de água foram acondicionadas em frascos de PVC, de capacidade de 500 mL e, em seguida, colocadas em caixa de isopor e mantidas resfriadas a 4° C para apropriado encaminhamento até o laboratório. As amostras foram coletadas em três piezômetros PCH 01, PCH 02 e PCH 05, que possibilitaram uma boa representatividade espacial da área estudada. Tomou-se o cuidado de se coletar as amostras no mesmo dia em que foram enviadas ao laboratório para prover mais qualidade às análises a serem realizadas.

Para caracterização do tipo de ambiente subterrâneo, realizou-se análise *in situ* de ORP ou potencial redox. Para tanto, utilizou-se um equipamento portátil da marca

*HANNA Instruments*, modelo HI 98120. Para caracterização da condutividade elétrica, temperatura e pH, utilizou-se também um equipamento da marca *HANNA Instruments*, modelo HI 98129. Uma apresentação detalhada das partes do aparelho é mostrada na FIGURA 13.

Os medidores foram calibrados em um ponto com reconhecimento dos três valores-tampão memorizados no aparelho antes de serem realizadas as leituras. As leituras de Eh foram verificadas de modo a testar a confiabilidade do aparelho em solução padrão de 228 mV.

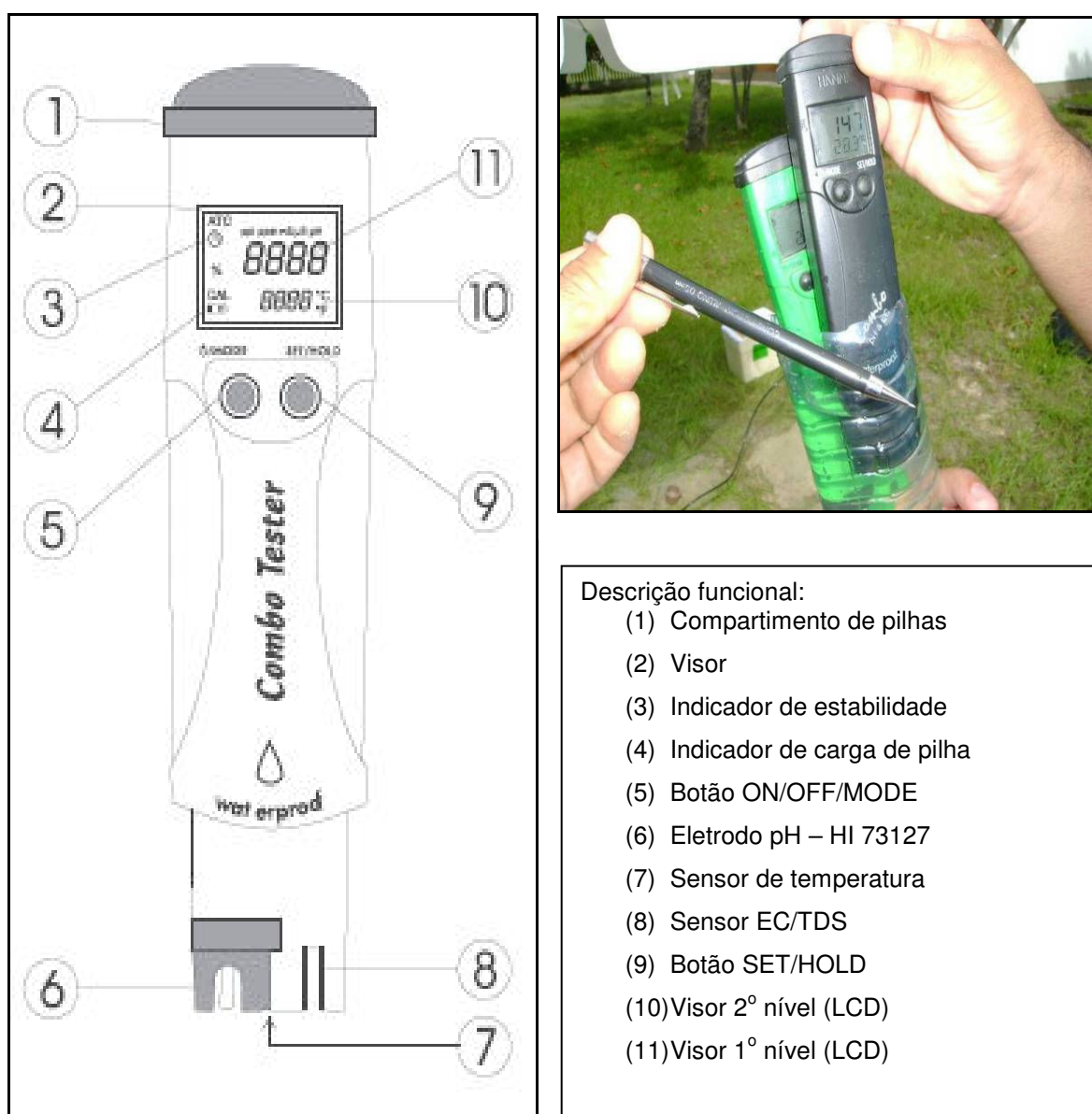


FIGURA 13. Detalhe da descrição funcional do aparelho modelo HI 98129 e medições realizadas em campo. Fonte: *HANNA Instruments*, (2009).

O procedimento utilizado para as medições de ORP, condutividade elétrica (EC) e pH deu-se por meio da coleta de água subterrânea através de *bailer* de PVC, no qual, antes de acondicionar a água a ser analisada, foi realizado “ambiente” no recipiente com o objetivo de se evitar qualquer tipo de contaminação cruzada. Em seguida, mergulhou-se os sensores de temperatura, o eletrodo de pH e o sensor de EC dentro do recipiente, efetivando, dessa maneira, a leitura dos parâmetros de interesse nos respectivos visores de LCD.

### **5.7 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA E CALIBRAÇÃO BAROMÉTRICA DAS LEITURAS**

Devido ao baixo gradiente hidráulico da área em estudo, o fluxo subterrâneo tende a ser também baixo. Exceto quando há alguma interferência externa que pode alterar o regime subterrâneo natural, como, por exemplo, um poço de bombeamento ou injeção. O método escolhido baseou-se na inserção no poço de monitoramento de um equipamento de dimensão de 22 mm de diâmetro x 90 mm, com precisão de mais ou menos 0,1°C e faixa de temperatura de -20°C a 80°C. Com o intuito de se obter o maior número de medições, o mais preciso possível, e que pudesse acompanhar todas as fases da Lua e conseqüentemente de marés, no período de 06.10.2009 a 09.11.2009, foram realizadas 9.771 medições de nível d'água e temperatura da água subterrânea em intervalos de cinco em cinco minutos através do *Mini-Diver®* Modelo DI 501 e interpretados através do *software Diver-Office 2008®*.

Como a pressão atmosférica possui “efeito mascarador” das verdadeiras leituras registradas de nível d'água, devido ao nível d'água estar muito próximo à superfície do terreno (aproximadamente 1 m) e à “boca” do poço estar a 2,165m acima do nível do mar, necessitou-se utilizar um outro equipamento para se fazer a compensação barométrica do nível d'água por meio de um equipamento denominado *Baro-Diver®*. Isso se deve ao fato da pressão atmosférica ao nível do mar ser muito maior que em áreas de elevadas altitudes. Na FIGURA 14, é mostrado o desenho esquemático da instalação dos dois equipamentos dentro do poço de monitoramento.

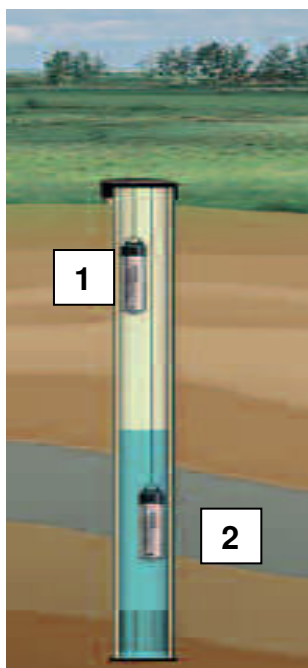


FIGURA 14. Desenho esquemático do posicionamento do *Mini-Diver*® (2) e do *Baro-Diver* ®(1) dentro do poço de monitoramento. Fonte: *Schlumberger WaterServices*

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

#### 6.1.1 Condutividade hidráulica

Neste estudo, foram realizados dois ensaios para a caracterização da condutividade hidráulica, a saber:

- análise granulométrica (utilizada para sedimentos inconsolidados, pela qual se obtém bons resultados utilizando os métodos de *Shepherd e Hazen*) e;
- teste de *slug*.

#### Análise granulométrica

A análise granulométrica foi aplicada para determinação da condutividade hidráulica, na qual se aplica, com frequência, em sedimentos inconsolidados. Dessa forma, obtém-se uma boa resposta.



As amostras foram recuperadas na perfuração do piezômetro PCH 03, nas faixas de profundidades 0,00 – 0,60; 1,00 – 1,40; 1,60 – 2,00; 2,00 – 2,40, situado no centro da área de estudo. A localização onde foi coletada a amostra e os resultados são apresentados na FIGURA 15 e na Tabela 3.



FIGURA 15. A seta em branco mostra o local onde foi coletada a amostra de solo. Fonte: Modificado do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências – ITCG (2007).

TABELA 3. Resultados das análises granulométricas

Granulometria	0,00 – 0,60 (%)	1,00 – 1,40 (%)	1,60 – 2,00 (%)	2,00 – 2,40 (%)	L.D. (%)
Cascalho e outros (>2mm)	Nd	Nd	nd	nd	0,1
Areia grossa (2mm a >0,6mm)	Nd	0,4	nd	nd	0,1
Areia média (0,6mm a >0,2mm)	71,0	65,4	67,5	73,7	0,1
Areia fina (0,2mm a >0,06mm)	29,0	31,6	32,1	26,2	0,1
Silt (0,06mm a >0,002mm)	Nd	0,5	nd	0,1	0,1
Argila (≤0,002mm)	Nd	2,0	0,2	nd	0,1



O laudo das análises granulométricas encontra-se disponível no anexo A1.

O resultado das análises granulométricas mostra que os sedimentos, de uma maneira geral, são grãos de granulação de fina a média, constituídos basicamente de quartzo e pouca ou quase nenhuma presença de bioclastos.

A FIGURA 16 mostra que o método de *Hazen* não pode ser utilizado, pois o diâmetro efetivo dos grãos ( $d_{10}$ ) encontra-se situado na faixa de 88  $\mu\text{m}$ . Portanto, para o cálculo da condutividade hidráulica, somente o método de *Shepherd* pode ser utilizado.

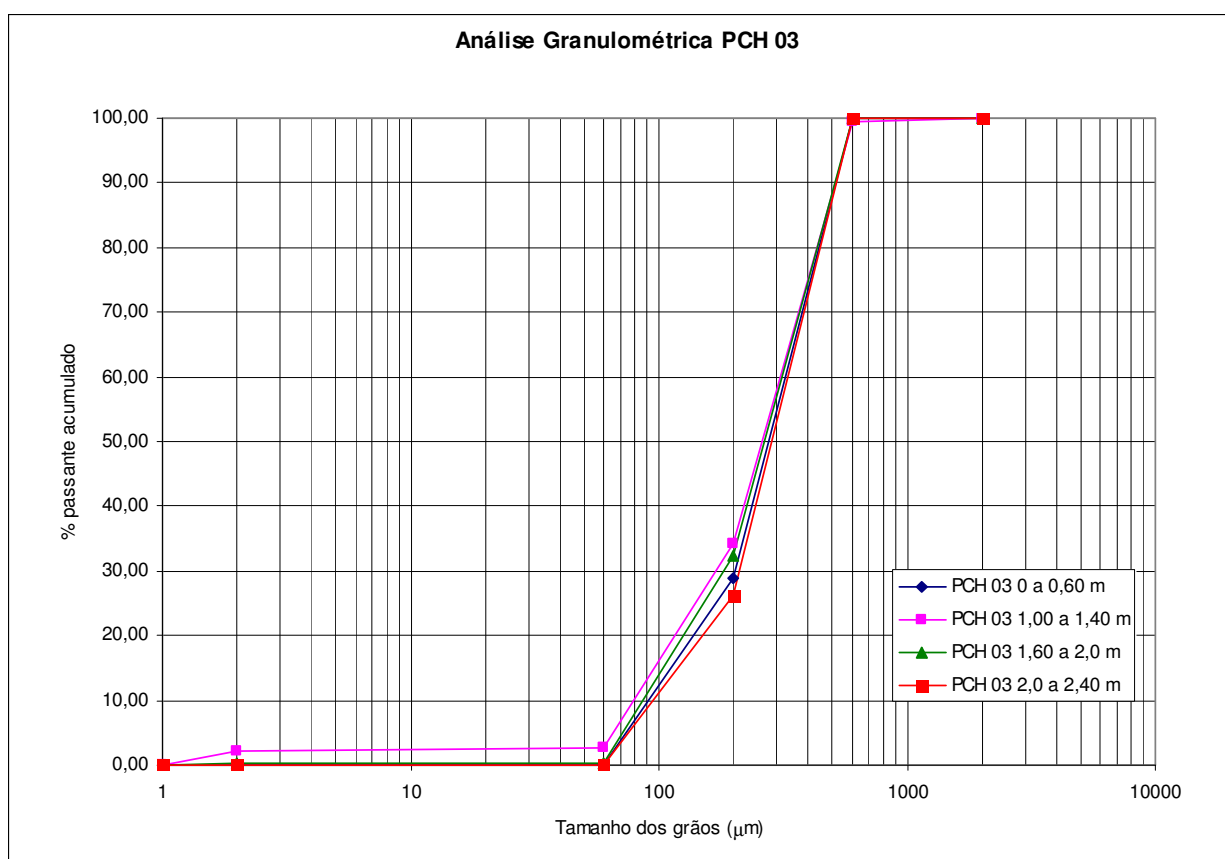


FIGURA 16. Gráfico com o resultado das análises granulométricas do material coletado na perfuração do piezômetro PCH 03.

Para o cálculo da condutividade hidráulica, considerou-se como parâmetro de seleção grãos de textura madura, originários de depósitos de praia, com  $C = 1.600$  e  $j = 1,75$ . Na Tabela 4, é apresentado o resultado da condutividade hidráulica, calculada pelo método de *Shepherd*.

TABELA 4. Resultados de condutividade hidráulica aplicando o método de *Shepherd*

Profundidade das amostras	Condutividade hidráulica (cm/s)	Condutividade hidráulica (m/dia)
0,00 – 0,60	$5,72 \times 10^{-2}$	49,42
1,00 – 1,40	$4,86 \times 10^{-2}$	41,99
1,60 – 2,00	$5,20 \times 10^{-2}$	44,92
2,00 – 2,40	$6,25 \times 10^{-2}$	54,00

### Porosidade, Densidade e foc

Por meio das análises, foi possível determinar que o aquífero freático é predominantemente granular, com elevada porosidade total (38,7% a 44,5%) e efetiva (30,3% a 37,7%) e densidade variando entre 1,95 g/cm<sup>3</sup> a 2,56 g/cm<sup>3</sup>. O aquífero apresenta baixo teor de matéria orgânica 1 ppm. Os laudos encontram-se disponíveis no anexo A1. As amostras foram preparadas e analisadas pelo laboratório INNOLAB, localizado no Rio de Janeiro-RJ.

### Teste de slug

A determinação precisa dos valores de condutividade hidráulica é necessária para estimar a velocidade de fluxo da água subterrânea, no cálculo das taxas de transporte dos contaminantes, na análise de risco das áreas impactadas e no esboço dos métodos de remediação. Os testes de *slug* são utilizados em hidrogeologia para determinar a condutividade hidráulica (K) dos aquíferos. Eles são de rápida realização, baixo custo e com a principal vantagem, em relação ao testes de bombeamento, de não gerar água potencialmente contaminada.

Nesse sentido, foram realizados testes de *slug* em três piezômetros. Dois deles localizados na área interna do CEM (PCH 01 e PCH 02) e um localizado na área de restinga (PCH 05), conforme é mostrado na FIGURA 17.



FIGURA 17. Localização dos piezômetros para caracterização hidrogeológica e geológica. A seta em branco mostra os piezômetros onde realizou-se os testes de *slug*. Fonte: Modificado de Instituto de Terras, Cartografia e Geociências – ITCG (2007).

Considerando o método de *Hvorslev*, não houve diferença de condutividade hidráulica entre os piezômetros PCH 01, PCH 02 e PCH 05 (FIGURAS 18,19 e 20). O meio saturado foi considerado homogêneo isotrópico. Não foi possível quantificar o grau de desenvolvimento dos poços, devido à não utilização de pré-filtro, embora, previamente aos ensaios, todos os piezômetros tenham sido desenvolvidos.

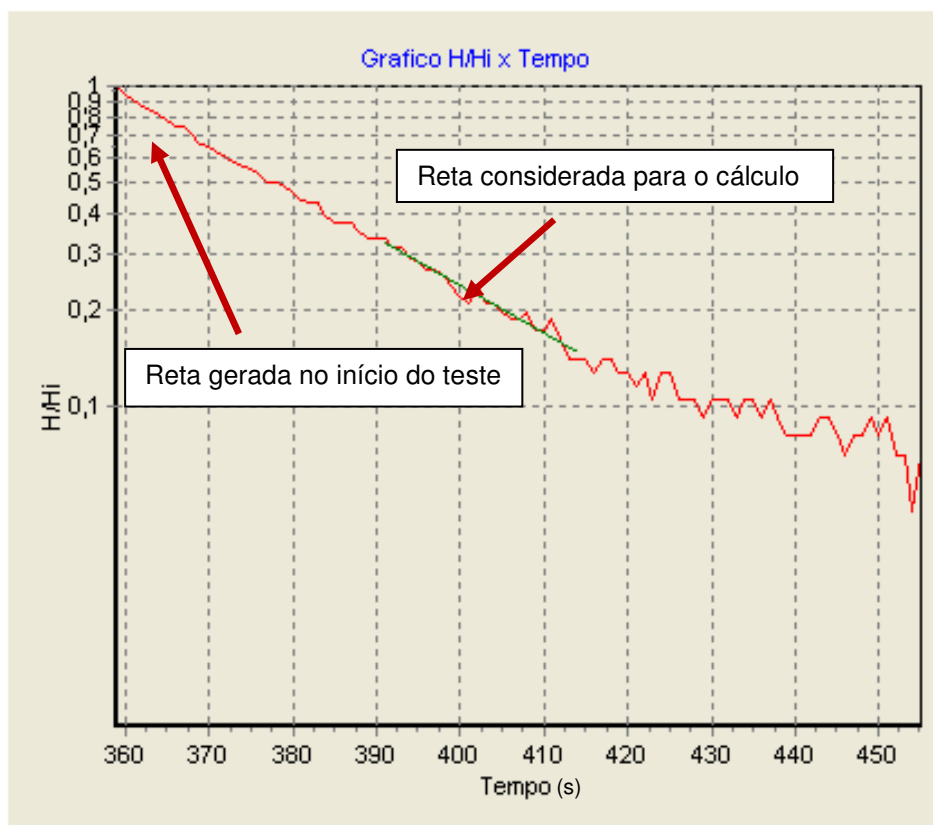


FIGURA 18. Gráfico referente ao teste de *slug* realizado no piezômetro PCH 05 mostrando as partes necessárias a uma boa interpretação.

A não utilização de pré-filtro possibilitou uma equalização do nível d'água desde o início do teste, mostrando uma reta de inclinação mais suave, indicando que a coluna de filtros permaneceu totalmente saturada durante os testes. Assim, houve somente o controle do aquífero. Geralmente, descarta-se os dados gerados no início dos testes (retas de inclinação acentuada no início do gráfico) pelo fato de representarem a drenança do pré-filtro.

Não obstante o universo de ensaios realizados para a caracterização da condutividade hidráulica fosse limitado, a metodologia aplicada no presente trabalho mostrou estar coerente com os fundamentos anteriormente descritos e dentro dos valores encontrados na literatura para o litotipo encontrado na área de estudo. Sedimentos inconsolidados de granulação predominantemente fina a média possuem condutividade hidráulica variando de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/s.

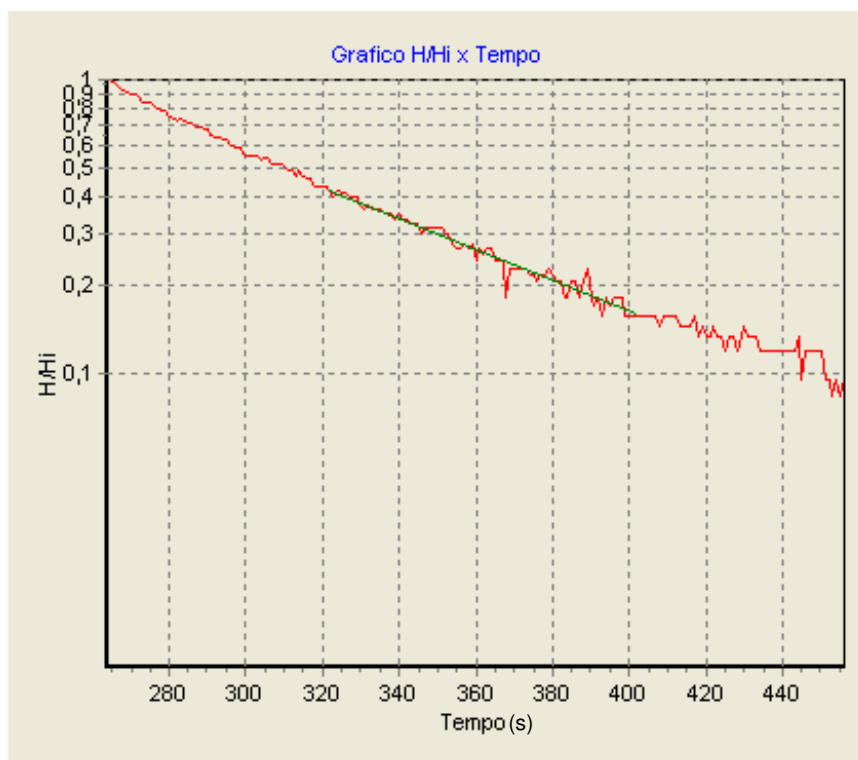


FIGURA 19. Gráfico referente ao teste de *slug* realizado no piezômetro PCH 02.

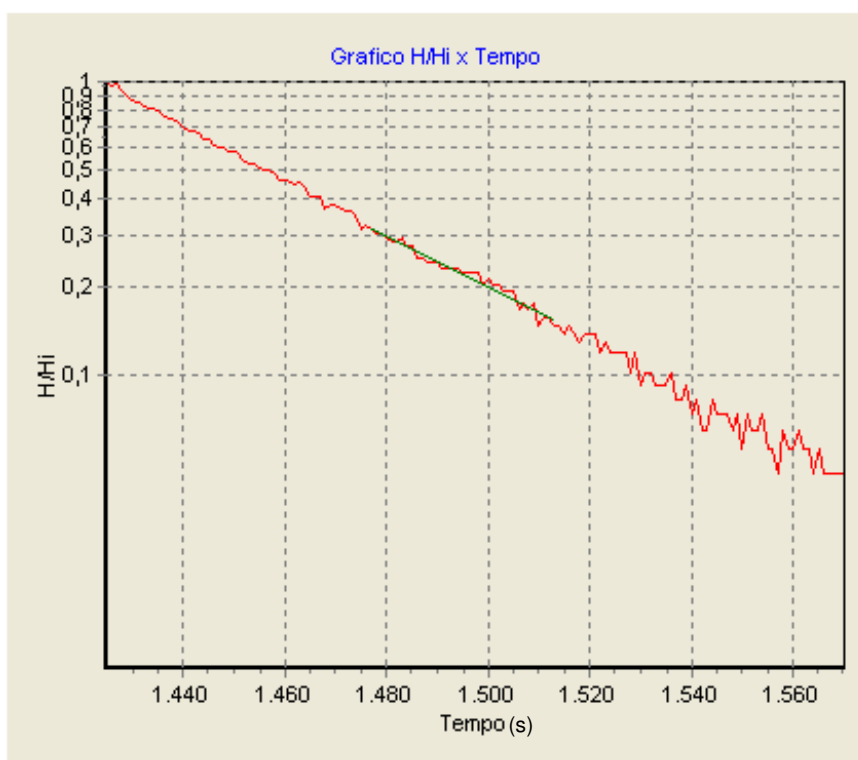


FIGURA 20. Gráfico referente ao teste de *slug* realizado no piezômetro PCH 01.

O resultado encontrado para a condutividade hidráulica através do teste de *slug* é apresentado na Tabela 5.

TABELA 5. Resultados de condutividade hidráulica aplicando o teste de *slug*

Piezômetro	Condutividade hidráulica (cm/s)	Condutividade hidráulica (m/dia)
PCH 01	$3,20 \times 10^{-3}$	2,76
PCH 02	$2,44 \times 10^{-3}$	2,10
PCH 05	$7,33 \times 10^{-3}$	6,33

### 6.1.2 Potenciometria e fluxo subterrâneo

A potenciometria gerada a partir das cargas hidráulicas e dos levantamentos das cotas dos piezômetros e aferida por meio de estação total, mostra o fluxo na direção norte, mais próximo ao mar, e na direção noroeste, mais próximo ao Rio Perequê, como pode ser visualizado na FIGURA 21. A inversão do fluxo, a princípio, poderia ser explicada a partir da análise da altura de maré. As medições do nível d'água foram realizadas no dia 25.04.2009 e no dia 26.04.2009, no intervalo de 14:40 hs a 15:45 hs. Analisando os dados da tábua de maré da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, estação de Barra de Paranaguá – Canal da Galheta, verificou-se que as medições de nível d'água coincidiram com as maiores elevações de maré nos dias dos experimentos (25.04.2009, 15:49 hs, altura: 1,60 m e 26.04.2009, 16:30 hs, altura: 1,50 m). Vale ressaltar que o nível médio de maré para esta estação é de 0,79 m.

Nesse sentido, foi realizado um estudo mais aprofundado para se investigar o comportamento do fluxo subterrâneo a partir dos dados obtidos durante os experimentos dos dias 25.04.2009 e 26.04.2009. Nesse caso, optou-se por um monitoramento detalhado do nível d'água com a instalação de transdutores de pressão programados para medições de cinco em cinco minutos e posterior comparação com as variações da maré.

SURESH BABU (2008) verificou, na área do campus do CEM, variação máxima na elevação do nível d'água da ordem de 10 cm para um carregamento de maré equivalente a 1,25 m de amplitude próximo à embocadura do Rio Perequê. Vale ressaltar que essas informações foram obtidas por meio de um monitoramento

efetuado durante um período de 24 horas em intervalos de tempo de 5 minutos através de um *CTD Data logger*.

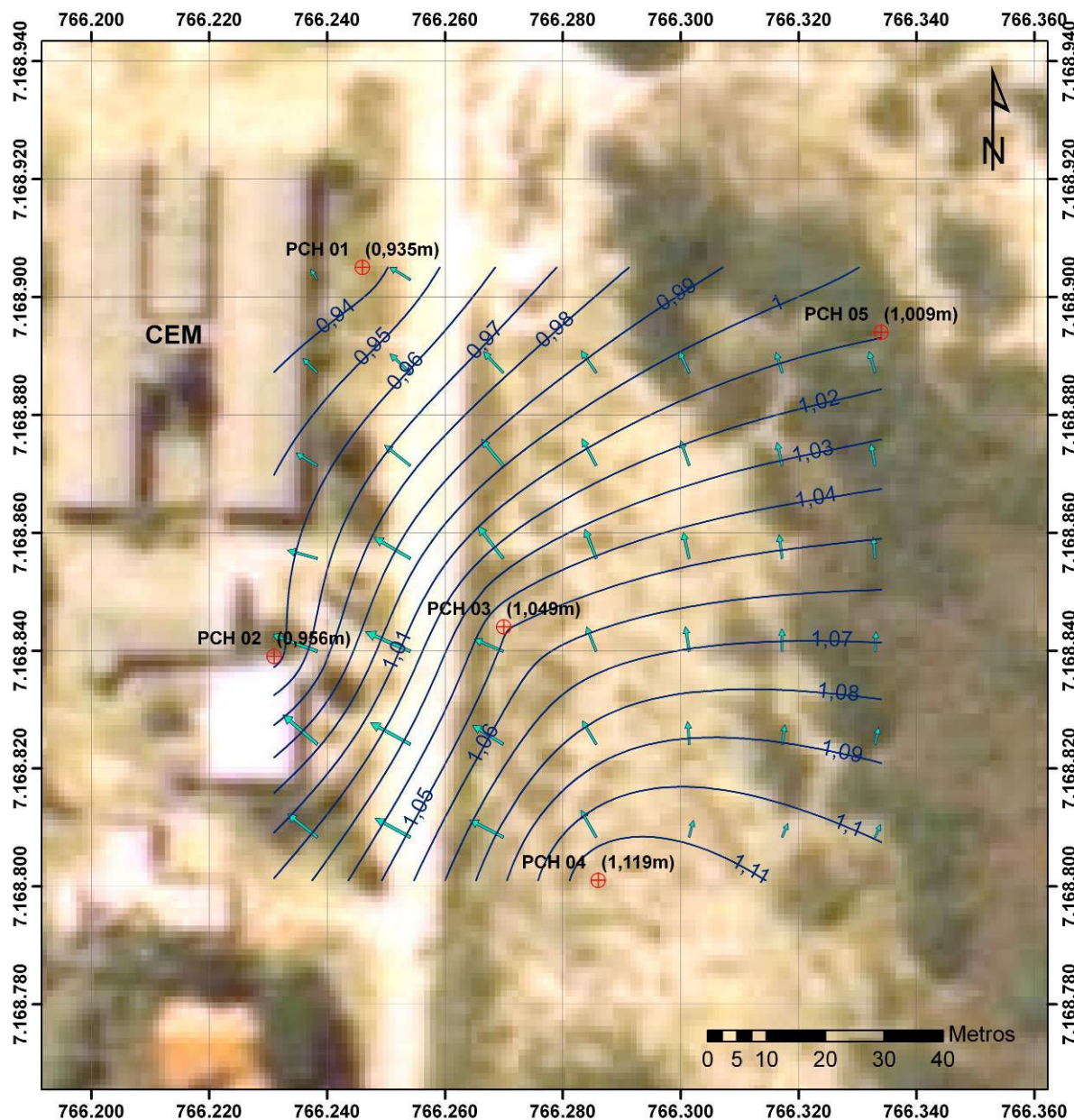


FIGURA 21. Mapa potenciométrico mostrando o fluxo da água subterrânea da área de estudo em 25.04.2009. Ressalta-se que o mar encontra-se na direção leste da figura e o Rio Perequê, a oeste.

Levando-se em consideração apenas a hipótese de que a maré influenciaria a inversão do fluxo subterrâneo (para o continente), em 05.10.2009, foram realizados dois experimentos considerando o nível mais baixo da maré (0,10 m de altura, por volta de 09:00 hs) e o nível mais alto (1,50 m, por volta de 15:38 hs) como é mostrado nas FIGURAS 22 e 23.



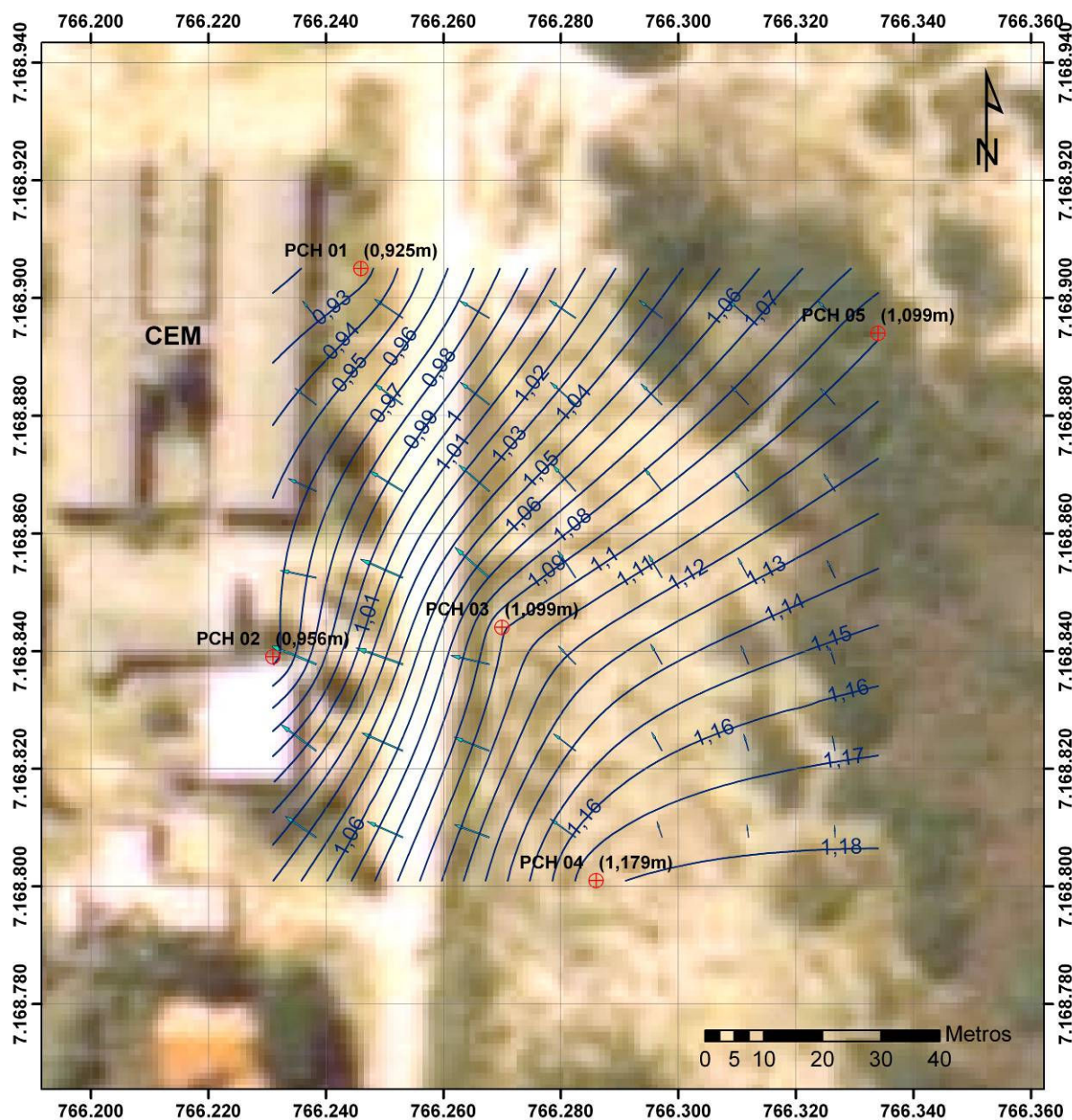


FIGURA 22. Mapa potenciométrico mostrando o fluxo da água subterrânea da área de estudo em 05.10.2009 por volta das 09:00 hs. Maré baixa 0,10 m de altura.

A potencimetria indicou que na maré mais baixa o fluxo subterrâneo permaneceu praticamente inalterado. O segundo passo então foi verificar a potencimetria com o nível mais alto de maré para o dia, ou seja, 1,50 m de altura.





FIGURA 23. Mapa potenciométrico mostrando o fluxo da água subterrânea da área de estudo em 05.10.2009 por volta das 15:38 hs. Maré alta 1,50 m de altura.

Com pequenas alterações nas linhas de fluxo, na maré mais alta, o fluxo continuou na direção do continente. Era necessário ainda mais informações para comprovar tal fenômeno, que, apesar de raro, pode ocorrer em determinadas regiões litorâneas. A hidrogeologia costeira é bastante sensível a pequenas alterações geológicas e antrópicas. E, nesse caso, tudo indica que o ponto de descarga, preferencialmente, é o canal do Rio Perequê, ou seja, o mangue. Sugere-se, pela análise das cargas hidráulicas, que existe uma componente do fluxo para o mar na área compreendida entre o PCH 03, PCH 04 e PCH05 e a linha de praia em alguns momentos de

alternância de maré. Dessa forma, há indícios de um divisor de água subterrânea entre essa área e o mar. Ressalta-se o cuidado que se deve ter em utilizar e interpretar os resultados de *softwares* de elaboração de fluxo subterrâneo, pois nas FIGURAS 21, 22 e 23 não se percebe, de imediato, esse fenômeno, devido ao fato do programa (*Surfer 7.0*) utilizar interpoladores matemáticos que requerem um maior número de dados de entrada.

### 6.1.3 Piezômetros

Para caracterização hidrogeológica e geológica, foram instalados cinco piezômetros na área estudada. As características construtivas dos piezômetros são apresentadas na Tabela 6.

TABELA 6. Características construtivas dos piezômetros

<b>Piezômetro</b>	<b>Perfurado (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Instalado (m)</b>	<b>Filtro (m)</b>	<b>Revestimento (m)</b>	<b>N.A. (m)</b>
PCH 01	2,05	50	1,87	0,80	1,07	1,23
PCH 02	1,98	50	1,78	0,80	0,98	0,95
PCH 03	2,63	50	2,43	0,80	1,63	1,85
PCH 04	2,17	50	2,05	0,80	1,25	1,48
PCH 05	1,62	50	1,49	0,80	0,69	0,87

A localização dos piezômetros foi escolhida de forma a abranger a área mais significativa e que pudesse representar de maneira satisfatória a espacialidade do fluxo subterrâneo.

Na FIGURA 24, é mostrado, de forma esquemática, a profundidade, o nível d'água e a posição dos filtros de cada piezômetro instalado.

A litologia descrita na perfuração é bastante homogênea, com grãos de areia apresentando granulação fina a média e grãos quartzosos de textura madura. Não foi observada diferença desse material em todos os intervalos desses piezômetros.

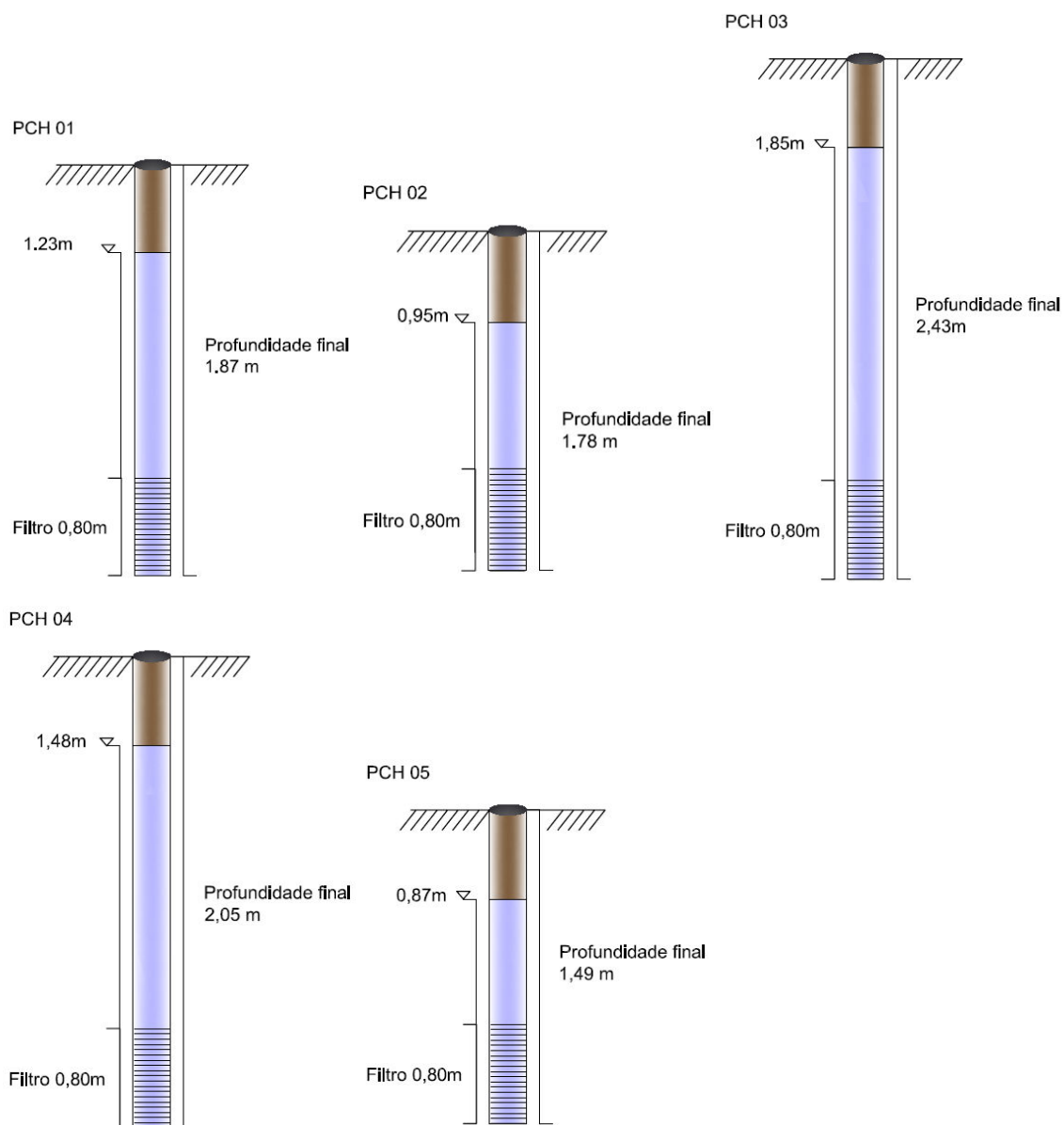


FIGURA 24. Perfil esquemático dos piezômetros.

#### 6.1.4 Poços de monitoramento

Com o objetivo de monitorar o nível d'água subterrâneo, a temperatura e a pressão atmosférica, foram instalados três poços de monitoramento na área estudada. Vale ressaltar que os equipamentos permaneceram instalados no poço denominado PMCH 01 por motivos de segurança. As características construtivas dos poços são apresentadas no Anexo 4 e na Tabela 7.

TABELA 7. Características construtivas dos poços de monitoramento.

Poço	Perfurado (m)	Diâmetro Revestimento (mm)	Instalado (m)	Filtro (m)	Diâmetro do poço (mm)	N.A. (m)
PMCH 01	3,75	100	2,96	2,50	50	1,20*
PMCH 04-A	3,75	100	2,91	2,20	50	1,42**
PMCH 04-B	3,75	100	3,12	2,20	50	1,43***

\*04/10/2009 – 16:00 hs, \*\* 04/10/2009 – 17:15 hs, \*\*\* 05/10/2009 – 17:00 hs.

#### 6.1.5 Avaliação multinível do nível d'água

Foram utilizadas medidas de dois níveis de água subterrânea, de duas profundidades diferentes, de dois instrumentos que se comportaram como duas câmaras independentes (multiníveis). As medidas foram efetuadas nos instrumentos denominados PMCH 01 e PCH 01. Ambos distantes 20 cm um do outro. As medidas verificadas foram: PCH 01 (05.10.2009 – 08:55 hs N.A.: 1,24 m e PMCH 01 05.10.2009 08:55 hs N.A.: 1,24 m). O primeiro possui profundidade de 2,96 m e o segundo, profundidade de 1,87 m. Concluiu-se que não há fluxo ascendente no aquífero (variação vertical do gradiente hidráulico).

#### 6.1.6 Monitoramento do nível d'água, temperatura da água e pressão atmosférica

Com o objetivo de se compreender o comportamento hidrogeológico da área de estudo, principalmente quanto ao comportamento do fluxo subterrâneo, optou-se por um monitoramento sistemático durante um período de trinta e quatro dias corridos, durante 24 horas com medições de cinco em cinco minutos. O período abrangeu todas as fases da Lua e foi comparado com os dados da tábua de marés obtido junto à Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, estação de Barra de Paranaguá – Canal da Galheta, entre os dias 06.10.2009 a 09.11.2009.

Os dados obtidos mostraram resultados que podem explicar parte do fenômeno que ocorre na área estudada, conforme é mostrado na FIGURA 25.

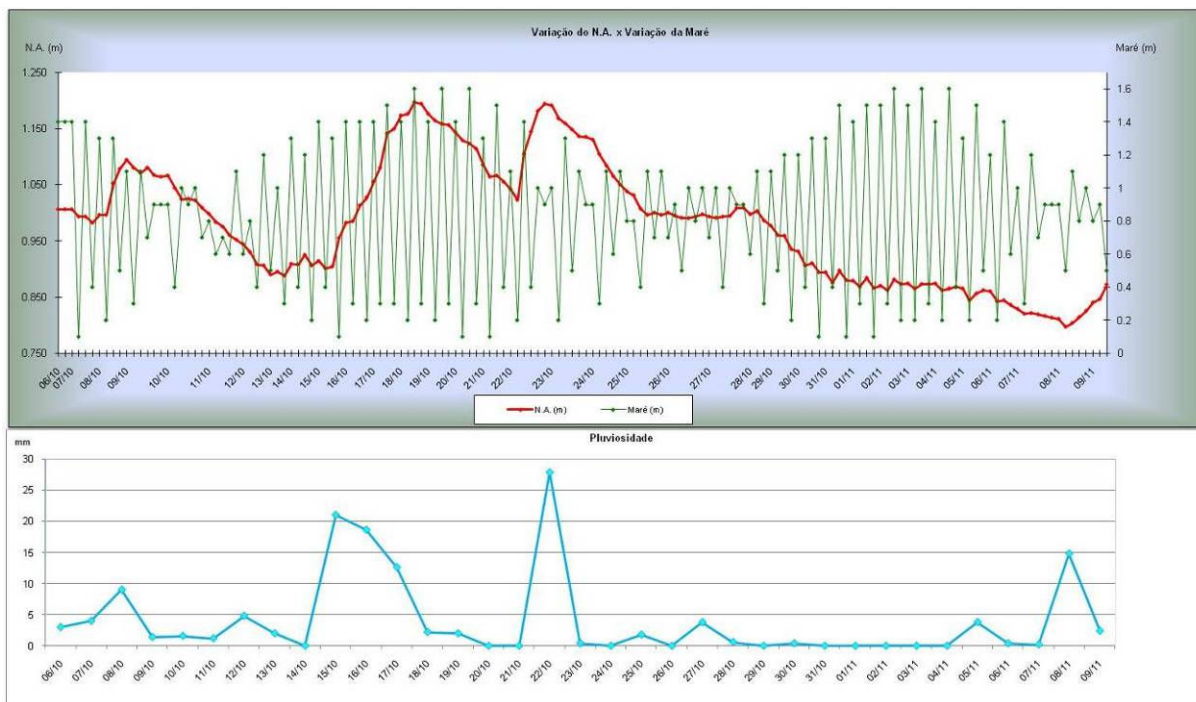


FIGURA 25. Gráfico variação do N.A. x variação da maré.

Os dados mostram que a maré tem pouco ou quase nenhuma influência na variação do N.A. Os picos de elevação do N.A. coincidem com os picos de chuva. Isso pode ser explicado pelo fato de a geologia do aquífero livre ser formada exclusivamente de areia de granulação fina a média com elevada porosidade efetiva. Isso corrobora para que a água de chuva, ao chegar ao solo, seja quase imediatamente infiltrada, recarregando o aquífero e refletindo dessa forma na elevação do N.A.

Analisando os níveis de N.A. para os carregamentos máximos e mínimos de maré, observa-se que não há grandes diferenças em função do comportamento da variação da maré, conforme é mostrado na FIGURA 26.

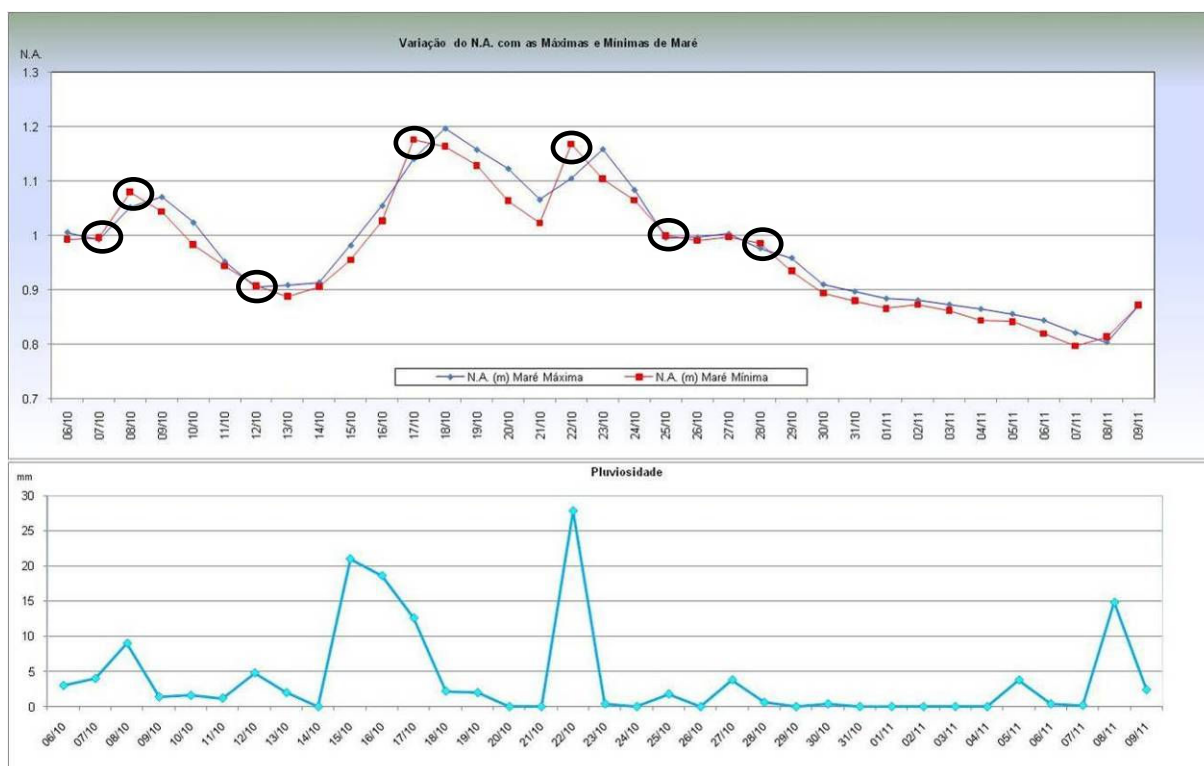


FIGURA 26. Gráfico variação do N.A. x variações máximas e mínimas da maré.

Levando-se em consideração os N.A. para os carregamentos máximos e mínimos de maré do período, nota-se que a variação do N.A. não ultrapassa 5,90 cm para um carregamento de maré de 1,50 m.

Nos períodos em que não há incidência significativa de chuva que possa alterar o regime de recarga subterrânea, por exemplo, entre os dias 29.10.2009 e 07.11.2009, podemos avaliar com maior precisão que realmente a influência da maré não altera o comportamento subterrâneo e, conseqüentemente o seu fluxo. Dessa forma, essa alteração fica mais relacionada, talvez, à evapotranspiração. Nesse período, a diferença máxima de N.A. foi de 2,40 cm e a mínima foi de 8 mm em 02.11.2009.

Observa-se, na FIGURA 26, pontos anômalos marcados com círculo preto, em que o N.A. da maré mínima eleva-se acima do N.A. da maré máxima. Isso pode ser explicado devido à alta taxa de infiltração da água de chuva no aquífero livre. No mesmo dia, em questão de horas, já se observa tal elevação independentemente da influência da maré.



Analisando, isoladamente, o que acontece na maré mínima e na maré máxima, observa-se o mesmo comportamento, conforme é apresentado nas FIGURAS 27 e 28.

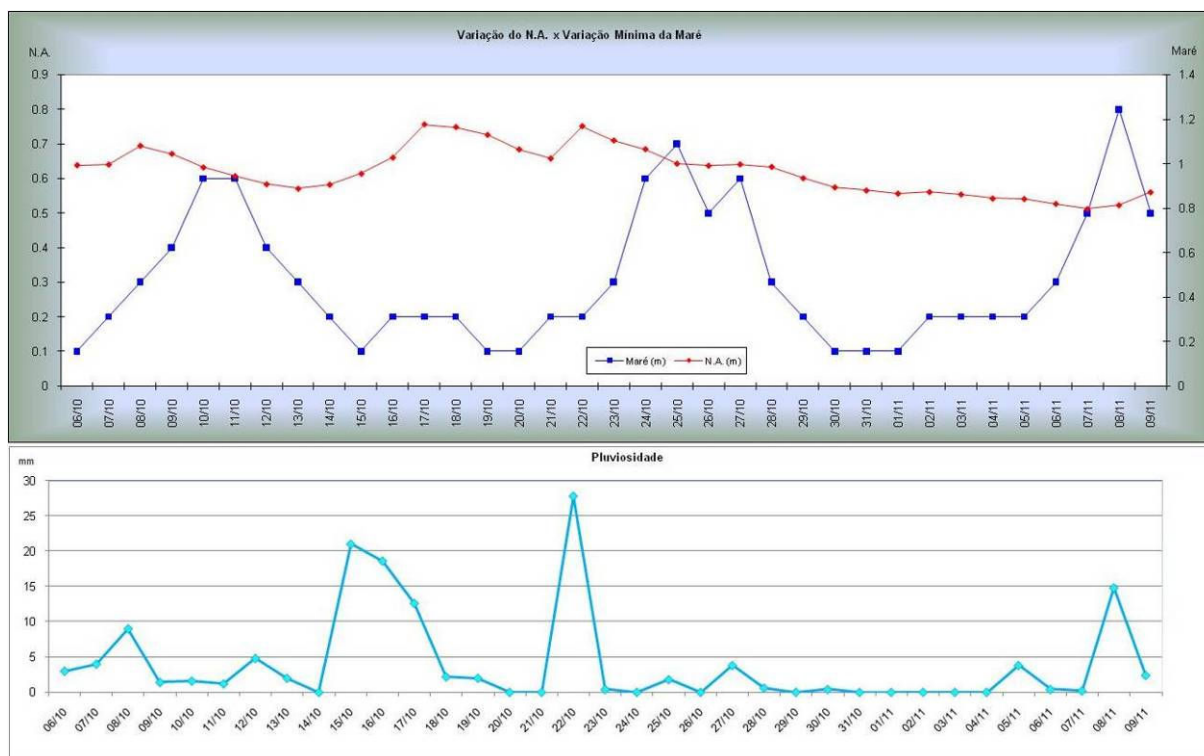


FIGURA 27. Gráfico variação do N.A. x variação mínima da maré.

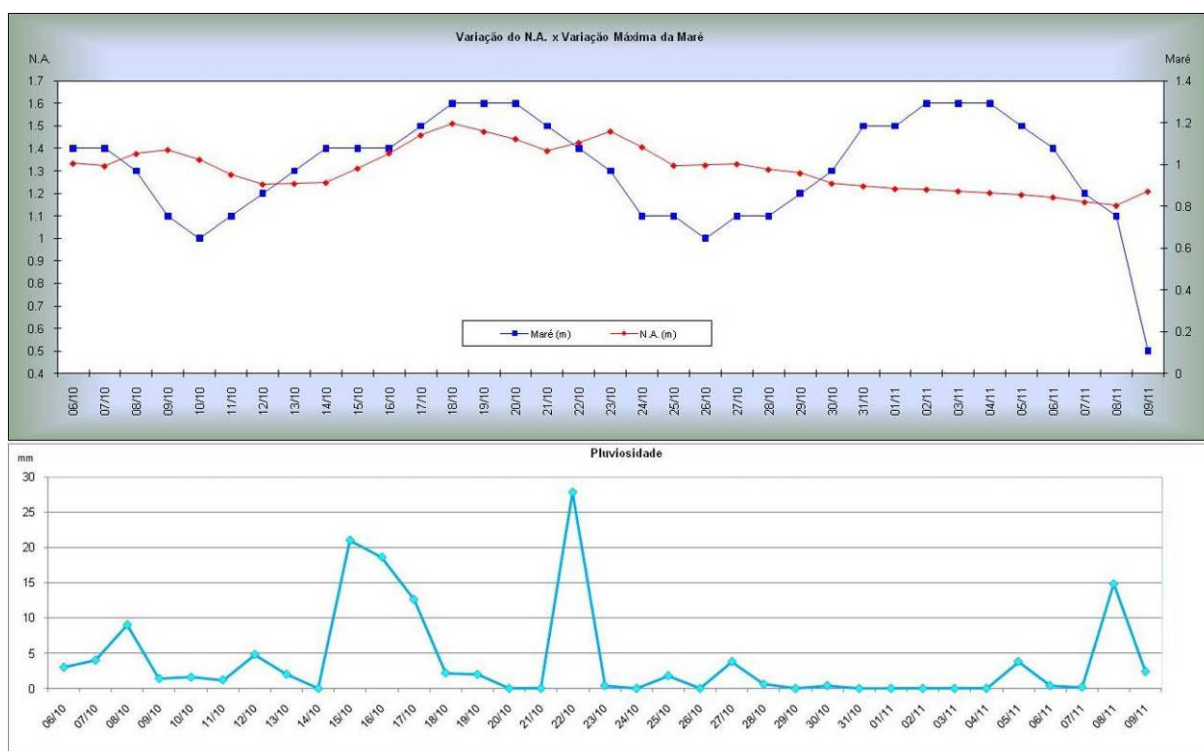


FIGURA 28. Gráfico variação do N.A. x variação máxima da maré.

O papel da alta porosidade da área estudada, porosidade total (38,7% a 44,5%) e efetiva (30,3% a 37,7%) e mais um conjunto de fatores, tais como insolação, aquífero raso e evapotranspiração, refletem diretamente na temperatura da água subterrânea. Fator importante para estabelecer um ambiente favorável à proliferação de microorganismos que podem auxiliar na remediação e reestabelecimento das condições naturais do aquífero freático, caso haja algum tipo de contaminação, por exemplo haja vista que a temperatura da água subterrânea localmente está diretamente ligada a fatores climáticos e sazonais, neste caso a chuva. Podemos observar esse comportamento com maior clareza na FIGURA 29.

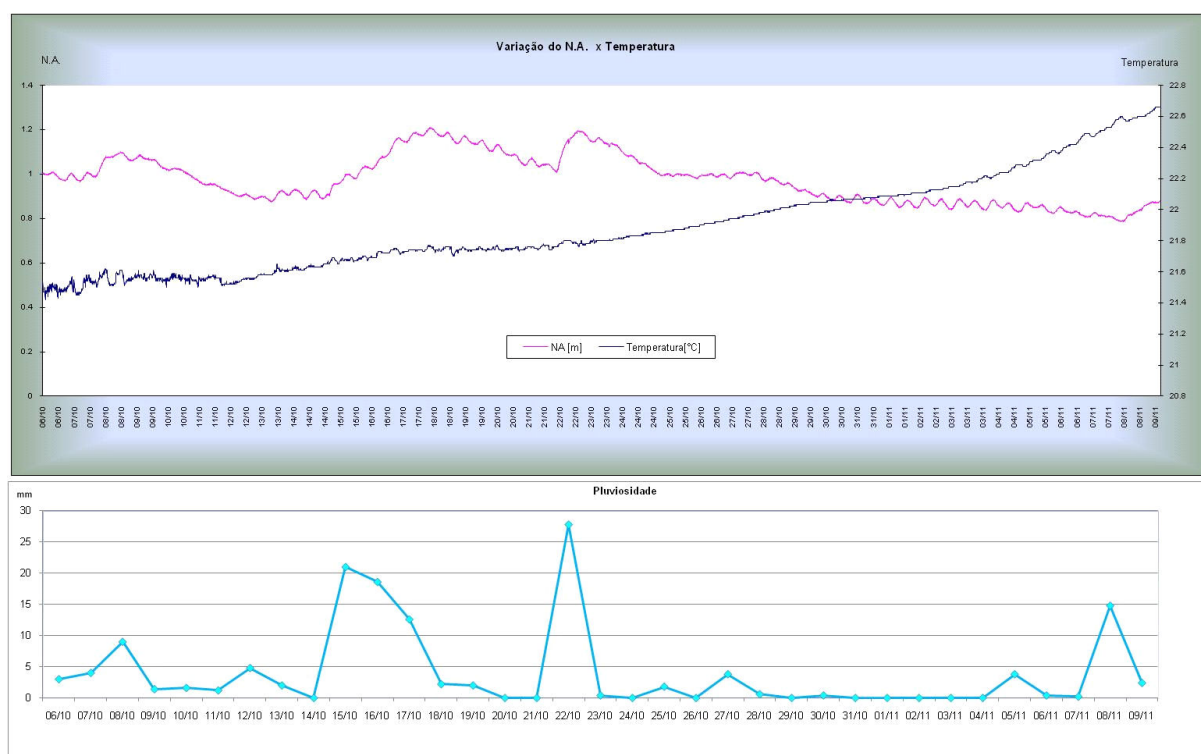


FIGURA 29. Gráfico variação do N.A. x variação da temperatura.

Quase imediatamente ao cessar das chuvas, a temperatura começa a se elevar ao seu padrão natural, que acredita-se ser em torno de 27°C, conforme é mostrado na Tabela 8, pois em 25.04.2009 essa foi a temperatura medida para o mês que apresentou o terceiro menor índice de pluviosidade do ano de 2009.



## 6.2 HIDROQUÍMICA

### Parâmetros *in situ*

Os parâmetros medidos *in situ* foram analisados através de medidores portáteis. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8. Resultados das análises de água medidos *in situ*

Parâmetro Analisado	PCH 01	PCH 02	PCH 04	PCH 05
C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	159	150	117	323
Eh (mV)	97	89	23	84
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	27,6	26,2	26,9	27,7
pH	6,95	6,15	7,95	6,8

De acordo com os dados da Tabela 8, as águas amostradas nos piezômetros caracterizam-se por apresentarem baixa mineralização, com condutividade elétrica inferior a  $350 \mu\text{S}/\text{cm}$ . O Eh encontra-se normalmente acima de 80 mV, sugerindo assim um ambiente oxidante, embora na amostra do PCH 04 este valor esteja próximo de 20 mV, indicando uma tendência redutora para o ambiente. No que diz respeito ao pH, todas as amostras apresentaram caráter neutro, sendo que apenas a amostra PCH 04 destacou-se das demais, com pH levemente básico. Os valores de temperatura praticamente não variam, apresentando assim uma média de  $27^{\circ}\text{C}$  para todas as amostras de água.

### Parâmetros analisados em laboratório

Coletou-se amostra de água subterrânea para análise físico-química completa no piezômetro PCH 01 e alguns parâmetros nos piezômetros PCH 02 e PCH 05. Estas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), onde, para a amostra coletada no piezômetro PCH 01, foram analisados os ânions fundamentais, assim como alguns dos íons minoritários, além da alcalinidade, da dureza e de outros parâmetros físico-químicos. A Tabela 9 apresenta os resultados da análise no piezômetro PCH 01, e a Tabela 10, para os piezômetros PCH 02 e PCH 05. Os laudos com os resultados das amostras de água encontram-se no anexo A2.

TABELA 9. Resultados das análises físico-químicas de água coletada no piezômetro PCH 01.

Parâmetro	Resultado (mg/L)
Alcalinidade total	23,31
Alcalinidade à fenolftaleína	0,00
Dureza total	22,60
Acidez	18,30
Dióxido de carbono livre	16,10
Nitrogênio Kjeldahl total	0,13
Nitrogênio amoniacal	0,10
Nitrogênio orgânico	0,03
Sólidos totais a 103°C	42,00
Sólidos suspensos totais	<5,00
Sólidos dissolvidos totais	42,00
Sílica dissolvida	7,10
DQO – Demanda química de oxigênio	43,00
Bicarbonato	28,44
Carbonato	0,00
Hidróxido	0,00
Cloreto	3,87
Fluoreto	<0,01
Fosfato	0,18
Sulfato	<1,00
Nitrato	<0,04
Nitrito	<0,01
Cálcio	6,82
Magnésio	1,36
Sódio	5,60
Potássio	0,20
Ferro total	3,16
Ferro III	2,89
Ferro II	0,27
Manganês	0,05

Com a finalidade de comprovar a qualidade da análise, foi realizado o balanço de cátions e ânions e, deste balanço, foi obtido o erro. Segundo Custódio e Llamas (2001), consideram-se aceitáveis erros inferiores a 10% para aquelas amostras com condutividade elétrica entre 50 e 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O erro obtido para a análise da amostra do PCH 01 foi de (9,36%) e, portanto dentro da faixa aceitável.

Os valores de concentração de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  foram tratados e representados no diagrama de *Piper* com a finalidade de caracterizar e classificar a amostra. Este diagrama é apresentado na FIGURA 30. De acordo com o resultado encontrado, a amostra do piezômetro PCH 01 corresponde a uma água essencialmente bicarbonatada cálcica-sódica.

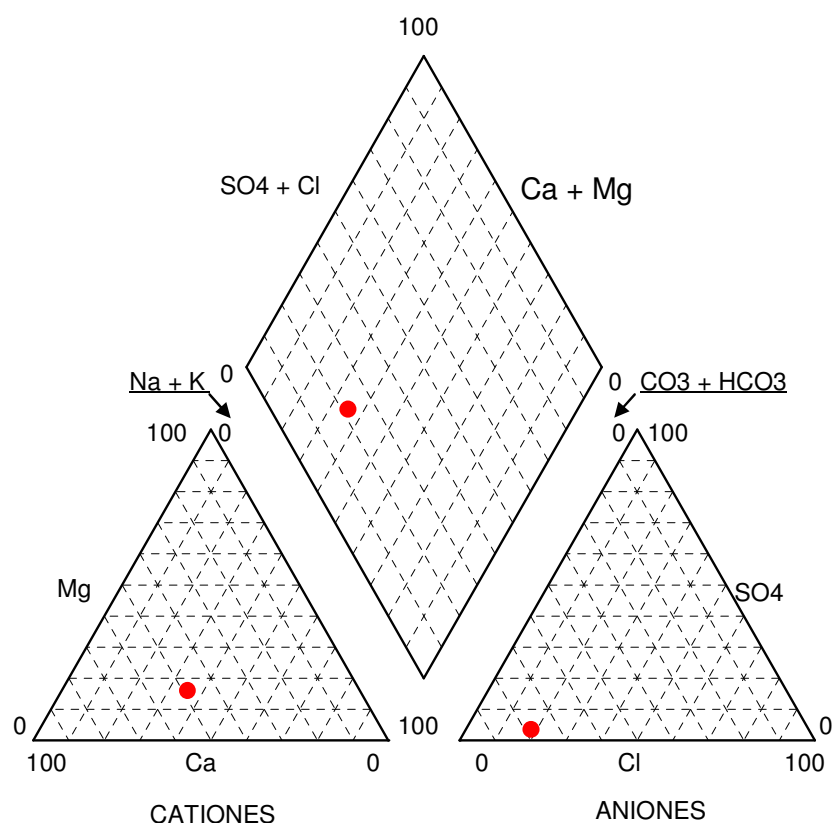


FIGURA 30. Diagrama de Piper mostrando a classificação da água coletada no piezômetro PCH 01.

Segundo Custódio e Llamas (2001), as relações iônicas  $rMg/rCa$ ,  $rCl/rHCO_3$  e  $rSO_4/rCl$  indicam uma origem continental para as águas do piezômetro PCH 01. Essas relações são apresentadas na Tabela 10.

TABELA 10. Relação iônica segundo Custódio e Llamas, 2001

Relação iônica		
$rMg / Ca$		0,33
$rSO_4 / rCl$		0,19
$rCl / rHCO_3$		0,23

O resultado das análises de água coletada nos piezômetros PCH 02 e PCH 05 podem ser visualizados na Tabela 11.

TABELA 11. Resultados das análises de água coletada nos piezômetros PCH 02 e PCH 05

Parâmetro Analisado	Resultado (mg/L) - PCH 02	Resultado (mg/L) - PCH 05
Alcalinidade Total	19,80	38,43
Alcalinidade a Fenolftaleína	0	0
Carbonato	0	0
Hidróxido	0	0

Parâmetro Analisado	Resultado (mg/L) - PCH 02	Resultado (mg/L) - PCH 05
Bicarbonato	24,16	46,88
Acidez	47,4	16,6
Dióxido de carbono livre	41,7	14,6
Sulfato	3.428,0	<1,0
Nitrato	0,06	0,14
Ferro total	0,69	0,49
Manganês	0,20	0,02

O alto teor de sulfato na amostra PCH 02 está incompatível com o resultado encontrado para a condutividade elétrica neste ponto. Desta maneira, esse parâmetro foi desconsiderado por apresentar erro. Esse erro pode ser de amostragem ou por alguma contaminação no manuseio da amostra ou do próprio meio.

### 6.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Por meio do nivelamento geométrico, chegou-se às cotas dos piezômetros. É apresentado na Tabela 12 o resultado do levantamento realizado na área estudada.

TABELA 12. Cota dos piezômetros

Piezômetro	Cota (m)
PCH 01	2,165
PCH 02	1,906
PCH 03	2,899
PCH 04	2,599
PCH 05	1,879

Realizou-se o nivelamento geométrico por ser um método mais preciso entre os três tipos de nivelamento existentes. Além do nivelamento geométrico, foi realizado aferição das cotas através do levantamento por estação total. Nesse levantamento, foi condição *sine qua non* a aferição das cotas por dois métodos considerados bastante precisos pelo fato de a área apresentar pouco desnível em relação ao nível do mar e com isso pequenas diferenças nas cotas, erros centimétricos, poderiam levar a erros consideráveis na elaboração da potenciometria e, conseqüentemente, na determinação do fluxo de água subterrânea. O erro no levantamento das cotas foi de 4 mm. A planilha de cálculo do nivelamento geométrico e a planta do levantamento planimétrico encontram-se no anexo A3.

## 7 CONCLUSÃO

A localidade de Pontal do Sul, que já é reconhecidamente atrativa economicamente pelo seu potencial turístico, também possui potencial para se transformar em um importante pólo portuário devida a sua proximidade com o porto de Paranaguá e suas características litorâneas.

Pontal do Sul apresenta um aquífero livre poroso, altamente vulnerável devido a sua formação aquífera freática ser composta estritamente de areia fina a média com elevada porosidade total e efetiva e, como resultado, apresenta elevada taxa de infiltração.

O aquífero livre é constituído por água de origem continental, essencialmente bicarbonatada cálcica-sódica, com baixa condutividade elétrica e temperatura aproximada de 27°C em períodos de menor índice de pluviosidade.

O ambiente subterrâneo apresenta-se caracteristicamente oxidante com pH aproximadamente neutro a levemente ácido.

O fluxo subterrâneo ocorre predominantemente na direção norte, mais próximo ao mar, e direção noroeste, mais próximo ao Rio Perequê, com predominância de descarga do aquífero freático para o canal do Rio Perequê (mangue). Apesar de apresentar indícios, por meio da análise das cargas hidráulicas observadas nos mapas potenciométricos, de uma componente do fluxo em direção ao mar na área compreendida entre o PCH 03, PCH 04, PCH 05 e a praia, sugerindo que há um divisor de água subterrânea entre essas áreas.

O nível d'água tem baixa ou quase nenhuma relação com as variações de marés e está diretamente relacionado a fatores climáticos, predominantemente a chuva. Os baixos valores de condutividade elétrica apresentados também indicam que não há interferência de maré.

A condutividade hidráulica encontrada está na ordem de  $10^{-3}$  cm/s a  $10^{-2}$  cm/s, portanto dentro dos valores apresentados na literatura para o litotipo encontrado na área de estudo.

Pontal do Sul ainda não é uma localidade onde a exploração do recurso hídrico subterrâneo é utilizado em larga escala e sua superfície territorial é carente de empreendimentos que coloquem em risco a qualidade da água subterrânea. Nesse sentido, é importante que se desenvolva um maior número de pesquisas hidrogeológicas na localidade com o intuito de se prover desenvolvimento da região, porém com segurança, para gerar e criar diretrizes objetivando uma melhor gestão dos recursos hídricos subterrâneos e, com isso, preservar esse recurso essencial às futuras gerações sem comprometer o seu desenvolvimento econômico.

## 8 REFERÊNCIAS

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do estado do Paraná**. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 1992.

AMERICAN Petroleum Institute. **API interactive LNAPL guide version 2.0**. Developed by environmental system and technologies (A division of groundwater & environmental services, Inc.). Virginia, jul. 2004.

ÂNGULO, R. J. **Contexto geológico regional**: mapa do Cenozóico do litoral do estado do Paraná. Paraná, n. 55, p. 25-42, 2004.

ASTM – American Society for Testing and Materials. Disponível em: <[www.astm.org/Standard](http://www.astm.org/Standard)> . Acesso em: 22 ago. 2008. 21:42.

BARROS, L. C.; VALENÇA, L. M. M.; MANSO, V. A. V.; MADRUGA FILHO, J. D.; OLIVEIRA, J. A. R. Textura, composição arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de Santa Cruz e do rio Timbó, norte do estado de Pernambuco. **IG. Série B, Estudos e Pesquisas**, v. 17(1), 2007. p.58-70.

BOUWER, H.; RICE, R. C. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. **Water Resources Research**, v.12, n.3, 1976. p. 423-428.

BOUWER, H. The bouwer and rice slug test – an update. **Ground Water**, v. 27, n. 3, 1989. p. 304-309.

CHANG, H. K.; CARRIER, N. D. **Winslug – Programa de aquisição e tratamento automatizado de testes de slug**. Unesp – Fundunesp. Registro INPI # 000332760, 2000.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS M. R. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 2001. 185 p.

DEZINHO, H. **Estudo da dinâmica praial como subsídio à gestão costeira do balneário de Pontal do Sul, PR**. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Pontal do Sul: Centro de Estudo do Mar, Departamento de Oceanografia – Universidade Federal do Paraná, 2004. 18 f.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>. Acesso em: 15 jun. 2009. 20:42.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2007. 38 p.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 4<sup>th</sup> ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2001. 190 p.

HANNA Instruments Brasil. Disponível em: [www.hannabrasil.com/catalogos/](http://www.hannabrasil.com/catalogos/). Acesso em: 03 maio 2009, 08:43.

HEATH, R. C. **Hidrologia de água subterrânea básica (Geological survey water-supply paper, 2220)**. North Carolina: Dept. of Natural Resource and Community Development., 1982. 7 p.

HVORSLEV, M. J. Time lag and soil permeability in ground water observations. Bul. Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station, **US**. n. 36, 1951.

HUBBERT, M.K. The Theory of Ground Water Motion. Journal of Geology, v. 48, n. 8, 1940. p. 785-944.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>. Acesso em: 21 abr. 2009. 09:40.

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 25 maio 2009. 15:44.

MARONE, E.; MANTOVANELLI, A.; KLINGENFUSS, S. M.; LAUTERT, F.C. L.; PRATA JR., P. V.; NOENBERG; M.A., 2005. **Transport of water, salt, heat and suspended particulate matter during a spring tide event at Pereque tidal creek, southern Brazil** (submitted).

MINEROPAR – Minerais do Paraná, S.A. Geologia do Paraná. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=7>>. Acesso em: 19 abr. 2009. 11:03.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. Geologia do Paraná. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/Geologocos/curitiba.PDF>> Acesso em: 19 abr. 2009. 16:41.

NIELSEN, M. D. **Environmental site characterization and ground-water monitoring**. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2006. 517 p.

OLIVA, A.; **Estudo hidrofaciológico do aquífero rio claro no município de Rio Claro - SP**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente do Setor de Geociências). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2006. 52, 57 f.



PEDE, M. A. Z. **Caracterização da condutividade hidráulica do embasamento cristalino alterado saturado na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp, Campus de Rio Claro, 2004. 11 f.

PIRNIE, MALCOM INC.; 1999. Evaluation of the fate and transport of ethanol in the environment. **Report prepared for the American Methanol Institute**, Washington, D.C., 2001. 15 p.

QUINTAS, M. C. L.; MANTOVANI, M. S. M.; ZALÁN, P. V. Contribuição ao estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, Paraná, v. 29, n. 2, p. 217-226, jun. 1999.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R. Atributos pedológicos e ocorrência de caixeta no litoral paranaense, Brasil. **Revista Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 59, p. 153-163, jun. 2001.

SCHLUMBERGER Water Services. Disponível em: <http://www.swstechnology.com/pdfs/brochures/Diver-Series-Brochure-English.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2009, 14:25.

SHEPHERD, R.G. **Correlations of permeability and grain size. groundwater**, v. 5, n. 27, 1989. p. 633-638.

SILVA, J. L. B. **Curso: Nivelamento geométrico**. 2003. Curso ministrado para o Departamento de Geodésia da UFRS, Porto Alegre, 2003.

SURESH BABU, D. S.; SAHAI, A. K.; NOENBERG, M. A.; MARONE, E. Hydraulic response of a tidally forced coastal aquifer, Pontal do Paraná, Brazil. **Hidrogeology Journal, Heidelberg**, v. 16, n. 7, p. 1427-1439, nov. 2008.

VEIGA, F. A. **Sedimentologia, morfologia e dinâmica da face da costa no litoral central do estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental do Setor de Ciências da Terra). Curitiba: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2004. 34 f.

## **ANEXO A1 - BOLETINS DE ENSAIOS DAS AMOSTRAS DE SOLO**

## Boletim de Ensaio

Pág. 1 de 1

Resp. Téc.: **Carina Casal**

Emitido em: **26/05/2009**

Lab-nº: **09/1375B**

### Análise em amostras de solo

Cliente : Rogerio Tadeu de Souza  
 Localização do Projeto : Não fornecido  
 Data da Coleta : Não fornecido  
 Entrega das amostras : 12/05/2009  
 Início dos ensaios/extração : 12/05/2009  
 Término dos ensaios : 26/05/2009

INNOLAB do Brasil Ltda.  
 Rua Sacadura Cabral - 236  
 Saúde - Rio de Janeiro - RJ  
 Cep. 20221-161  
 CNPJ. 04.183.043/0001-00  
 Tel. (21) 3509-1750  
 Fax (21) 2233-4621

Projeto : Não fornecido  
 Gerente do Projeto : Rogério Tadeu de Souza


Parâmetro	PCH-0,0-0,60 (g)	PCH-1,00-1,40 (g)	PCH-1,60-2,00 (g)	PCH-2,00-2,40 (g)	Ref. Método	L.D. (g)
<b>Granulometria</b>						
Cascalho e Outros (>2mm)	nd	nd	nd	nd	ABNT NBR 6502/95	0,1
Areia Grossa (2mm a >0,6mm)	0,021	0,186	0,017	0,008		0,1
Areia Média (0,6mm a >0,2mm)	33,812	28,982	28,357	30,226		0,1
Areia Fina (0,2mm a >0,06mm)	13,793	13,983	13,488	10,759		0,1
Silt (0,06mm a >0,002mm)	0,008	0,242	0,030	0,041		0,1
Argila (≤0,002mm)	nd	0,901	0,103	0,002		0,1

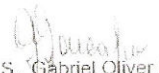
FM-004-L2N - Rev.00 18/02/2009 - Apr. FEV/09

### Observações

- Manual de métodos de análises de solo 2ª Edição - Embrapa
- Foram realizadas duplicatas em 10% das amostras e os resultados obtidos estão em conformidade com os critérios de aceitação estabelecidos.
- Nos ensaios são utilizados padrões rastreáveis ao SI (Sistema Internacional de Medidas).
- Foram utilizados Brancos de Controle conforme metodologia informada.

conferido (F)

  
 José Antônio Pires de Mello  
 Diretor  
 B. Sc, Eng. Quím. e Quím. Industrial  
 CRO - 03311142 / CREA - 791006469

  
 Ms. S. Gabriel Oliver Gonçalves  
 Chefe Lab. Inorgânico  
 CRO - 03211350

## Boletim de Ensaio

Pág. 1 de 1

Resp. Téc.: **Carina Casal**

Emitido em: **26/05/2009**

Lab-nº: **09/1375C**

### Análise em amostras de solo

Cliente : Rogerio Tadeu de Souza  
Localização do Projeto : Não fornecido  
Data da Coleta : Não fornecido  
Entrega das amostras : 12/05/2009  
Início dos ensaios/extração : 12/05/2009  
Término dos ensaios : 26/05/2009

INNOLAB do Brasil Ltda.  
Rua Sacadura Cabral - 236  
Saúde - Rio de Janeiro - RJ  
Cep. 20221-161  
CNPJ. 04.183.043/0001-00  
Tel. (21) 3509-1750  
Fax (21) 2233-4621

Projeto : Não fornecido  
Gerente do Projeto : Rogério Tadeu de Souza


Parâmetro	PCH-0,0-0,60 (%)	PCH-1,00-1,40 (%)	PCH-1,60-2,00 (%)	PCH-2,00-2,40 (%)	Ref. Método	L.D. (%)
<b>Granulometria</b>						
Cascalho e Outros (>2mm)	nd	nd	nd	nd	ABNT NBR 6502/95	0,1
Areia Grossa (2mm a >0,6mm)	nd	0,4	nd	nd		0,1
Areia Média (0,6mm a >0,2mm)	71,0	65,4	67,5	73,7		0,1
Areia Fina (0,2mm a >0,06mm)	29,0	31,6	32,1	26,2		0,1
Silt (0,06mm a >0,002mm)	nd	0,5	nd	0,1		0,1
Argila (≤0,002mm)	nd	2,0	0,2	nd		0,1

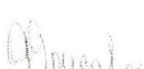
FM-004-L2N - Rev.00 18/02/2009 - Apr. FEV/09

### Observações

- Manual de métodos de análises de solo 2ª Edição - Embrapa
- Foram realizadas duplicatas em 10% das amostras e os resultados obtidos estão em conformidade com os critérios de aceitação estabelecidos.
- Nos ensaios são utilizados padrões rastreáveis ao SI (Sistema Internacional de Medidas).
- Foram utilizados Brancos de Controle conforme metodologia informada.

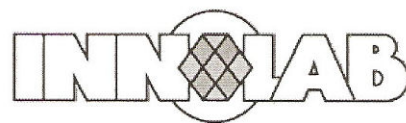
conferido (F)

  
José Antônio Pires de Mello  
Diretor  
B. Sc. Eng. Quím. e Quím. Industrial  
CRO - 03311142 / CREA - 791006469

  
Ms. S. Gabriel Oliver Gonçalves  
Chefe Lab. Inorgânico  
CRO - 03211350



Laboratório de Ensaio acreditado  
pela Cgcre/Inmetro de acordo com  
a ABNT NBR ISO/IEC 17025.



## Boletim de Ensaio

Pág. 1 de 1

Resp. Téc.: **Gabriel Oliver**

Emitido em: **26/05/2009**

Lab-nº: **09/1375A**

### Análise em amostras de solo

Cliente : Rogerio Tadeu de Souza  
Localização do Projeto : Não fornecido  
Data da Coleta : Não fornecido  
Entrega das amostras : 12/05/2009  
Início dos ensaios/extração : 12/05/2009  
Término dos ensaios : 26/05/2009

INNOLAB do Brasil Ltda.  
Rua Sacadura Cabral - 236  
Saúde - Rio de Janeiro - RJ  
Cep. 20221-161  
CNPJ. 04.183.043/0001-00  
Tel. (21) 3509-1750  
Fax (21) 2233-4621

Projeto : Não fornecido  
Gerente do Projeto : Rogério Tadeu de Souza


Parâmetro	PCH-0,0-0,60	PCH-1,00-1,40	PCH-1,60-2,00	PCH-2,00-2,40	Ref. Método	L.Q	L.D.
Densidade Aparente	nd	nd	nd	nd	*		0,01 g/cm³
Densidade Real	1,95	2,48	2,39	2,56	*		0,01 g/cm³
FOC	1,045	1,059	1,061	1,107	MA-026-L2	1	3 mg/L
Porosidade Efetiva	34,7	30,3	37,7	37,1	*		0,1 %
Porosidade Total	38,7	44,5	43,4	43,5	*		0,1 %


\*Manual de Métodos de Análise de Solo 2ªEd. (Embrapa)

FM-004-L2A - Rev.00 18/02/2009 - Apr. FEV/09

### Observações

- Foram realizadas duplicatas em 10% das amostras e os resultados obtidos estão em conformidade com os critérios de aceitação estabelecidos.
- Nos ensaios são utilizados padrões rastreáveis ao SI (Sistema Internacional de Medidas).
- Foram utilizados Brancos de Controle conforme metodologia informada conferido (F)

  
José Antônio Pires de Mello  
Diretor  
B. Sc, Eng. Quím. e Quím. Industrial  
CRO - 03311142 / CREA - 791006469

  
Ms. S. Gabriel Oliver Gonçalves  
Chefe Lab. Inorgânico  
CRO - 03211350

## **ANEXO A2 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**



**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA**

**Nº 10341**

Solicitante:	<b>Rogério Tadeu de Souza</b>	Data da entrega:	<b>26.05.2009</b>
Amostrador:	<b>solicitante</b>	Data da coleta:	<b>23.05.2009</b>
Distrito/Cidade:	<b>Pontal do Sul</b>	U.F.:	<b>PR</b>
Local da coleta:	<b>PCH 01</b>		

Aspecto "in natura":	<b>límpida</b>
Cor (uH):	<b>100</b>
Turbidez (UT):	<b>39</b>

Odor:	<b>Não objetável</b>
Condutividade (µS/cm) à 25°C:	<b>67</b>
pH:	<b>6.80</b>

		mg/L
Alcalinidade total	CaCO <sub>3</sub>	<b>23.31</b>
Alcalinidade à fenolftaleína	CaCO <sub>3</sub>	<b>0</b>
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	<b>22.60</b>
Acidez	CaCO <sub>3</sub>	<b>18.3</b>
Dióxido de carbono livre	CO <sub>2</sub>	<b>16.1</b>
Nitrogênio Kjeldahl total	N	<b>0.13</b>
Nitrogênio amoniacal	N(NH <sub>3</sub> )	<b>0.10</b>
Nitrogênio orgânico	N	<b>0.03</b>
Sólidos totais à 103 °C		<b>42</b>
Sólidos suspensos totais		<b>&lt;5</b>
Sólidos dissolvidos totais		<b>42</b>
Silica dissolvida	SiO <sub>2</sub>	<b>7.1</b>
DQO – Demanda química de oxigênio	O <sub>2</sub>	<b>43</b>

		mg/L
Bicarbonato	HCO <sub>3</sub>	<b>28.44</b>
Carbonato	CO <sub>3</sub>	<b>0</b>
Hidróxido	OH	<b>0</b>
Cloreto	Cl	<b>3.87</b>
Fluoreto	F	<b>&lt;0.01</b>
Fosfato	PO <sub>4</sub>	<b>0.18</b>
Sulfato	SO <sub>4</sub>	<b>&lt;1.0</b>
Nitrato	NO <sub>3</sub>	<b>&lt;0.04</b>
Nitrito	NO <sub>2</sub>	<b>&lt;0.01</b>
Cálcio	Ca	<b>6.82</b>
Magnésio	Mg	<b>1.36</b>
Sódio	Na	<b>5.60</b>
Potássio	K	<b>0.20</b>
Ferro total	Fe	<b>3.16</b>
Ferro II	Fe <sup>+2</sup>	<b>2.89</b>
Ferro III	Fe <sup>+3</sup>	<b>0.27</b>
Manganês	Mn	<b>0.05</b>

Diferença do Balanço Iônico (DBI)	Σ Cátions (meq/L): 0.70	Σ Ânions (meq/L): 0.58	DBI (%): 9.36
-----------------------------------	-------------------------	------------------------	---------------

**POTABILIDADE:** Os parâmetros **COR, TURBIDEZ e FERRO** analisados não estão em conformidade com os padrões de potabilidade da água para consumo humano estabelecidos pela Portaria Nº518/2004 do Ministério da Saúde.

**VALORES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS:** cor 15 uH - cloreto 250 mg/L - dureza 500 mg/L - ferro total 0.3 mg/L - fluoreto 1.5 mg/L - manganês 0.1 mg/L - nitrato 45 mg/L - nitrito 3 mg/L - nitrogênio amoniacal 1,5 mg/L - sódio 200 mg/L - sólidos totais dissolvidos 1000 mg/L - sulfato 250mg/L - turbidez 5 UT. Para o pH os valores recomendados são entre de 6.0 e 9.5.

**Observação:** A presente análise tem seu valor restrito a amostra recebida pelo LPH.

**Bibliografia:** APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20<sup>th</sup> ed. 1998.

Curitiba, 04 de junho de 2009.

  
Daniela Kugs  
Técnica Analista  
CRQ 09401359

  
Alexandre Gregorio  
Químico Responsável  
CRQ 09201684



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências da Terra – Degeol.  
Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas  
Centro Politécnico - Jd das Américas - 81.531-990 - Curitiba - PR - Brasil  
www.lph.ufpr.br / e-mail: lph@ufpr.br / fone/fax: (41) 3267-7910



## ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA EM ÁGUA

Nº 10272 A

Solicitante:	<b>Rogério Tadeu de Souza</b>	Data da entrega:	<b>27.04.2009</b>
Amostrador:	<b>Rogério Tadeu de Souza</b>	Data da coleta:	<b>27.04.2009</b>
Distrito/Cidade:	<b>Pontal do Sul</b>	U.F.:	<b>PR</b>
Local da coleta:	<b>CEM - UFPR / Poço de caracterização hidrogeológica PCH 02</b>		

Parâmetros	Resultados	Unidades
Alcalinidade Total	<b>19.80</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Alcalinidade a Fenolftaleína	<b>0</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Carbonato	<b>0</b>	mg/L CO <sub>3</sub>
Hidróxido	<b>0</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Bicarbonato	<b>24.16</b>	mg/L HCO <sub>3</sub>
Acidez	<b>47.4</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Dióxido de Carbono livre	<b>41.7</b>	mg/L CO <sub>2</sub>
Sulfato	<b>3428.00</b>	mg/L SO <sub>4</sub>
Nitrato	<b>0.06</b>	mg/L N(NO <sub>3</sub> )
Ferro total	<b>0.69</b>	mg/L Fe
Manganês	<b>0.20</b>	mg/L Mn

**POTABILIDADE:** Os parâmetros analisados estão em conformidade com os padrões de potabilidade da água para consumo humano estabelecidos pela Portaria Nº518/2004 do Ministério da Saúde.

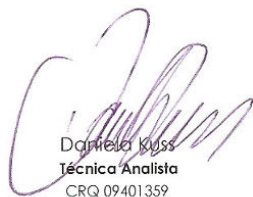
Notas:

- (I) Valor Máximo Permitido (padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde).  
(II) Valores recomendados.

**Observação:** A presente análise tem seu valor restrito a amostra recebida pelo LPH.

**Bibliografia:** APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20<sup>th</sup> ed. 1998.

Curitiba, 04 de maio de 2009.

  
Daniela Kuss  
Técnica Analista  
CRQ 09401359

  
Alexandre Gregorio  
Químico Responsável  
CRQ 09201684





Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências da Terra – Degeol.  
Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas  
Centro Politécnico - Jd das Américas - 81.531-990 - Curitiba - PR - Brasil  
www.lph.ufpr.br / e-mail: lph@ufpr.br / fone/fax: (41) 3267-7910



### ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA EM ÁGUA

Nº 10272 B

Solicitante: **Rogério Tadeu de Souza** Data da entrega: **27.04.2009**  
Amostrador: **Rogério Tadeu de Souza** Data da coleta: **27.04.2009**  
Distrito/Cidade: **Pontal do Sul** U.F.: **PR**  
Local da coleta: **CEM - UFPR / Poço de caracterização hidrogeológica PCH 05**

Parâmetros	Resultados	Unidades
Alcalinidade Total	<b>38.43</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Alcalinidade a Fenolftaleína	<b>0</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Carbonato	<b>0</b>	mg/L CO <sub>3</sub>
Hidróxido	<b>0</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Bicarbonato	<b>46.88</b>	mg/L HCO <sub>3</sub>
Acidez	<b>16.6</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Dióxido de Carbono livre	<b>14.6</b>	mg/L CO <sub>2</sub>
Sulfato	<b>&lt;1.0</b>	mg/L SO <sub>4</sub>
Nitrato	<b>0.14</b>	mg/L N(NO <sub>3</sub> )
Ferro total	<b>0.49</b>	mg/L Fe
Manganês	<b>0.02</b>	mg/L Mn

**POTABILIDADE:** Os parâmetros analisados estão em conformidade com os padrões de potabilidade da água para consumo humano estabelecidos pela Portaria Nº518/2004 do Ministério da Saúde.

Notas:

- (I) Valor Máximo Permitido (padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde).  
(II) Valores recomendados.

**Observação:** A presente análise tem seu valor restrito a amostra recebida pelo LPH.

**Bibliografia:** APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20<sup>th</sup> ed. 1998.

Curitiba, 04 de maio de 2009.

  
Daniela Kuss  
Técnica Analista  
CRQ 09401359

  
Alexandre Gregorio  
Químico Responsável  
CRQ 09201684

**ANEXO A3 - PLANTA PLANIMÉTRICA DA ÁREA DE ESTUDO E  
PLANILHA DE CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DAS COTAS DOS  
PIEZÔMETROS**



Planilha de cálculo da realização do nivelamento geométrico. Todas as medidas encontram-se em metros.

			VISADA VANTE				
PONTO	VISADA RÉ	ALTURA INSTRUMENTO	INTERM.	MUDANÇA	COTA RN	COTA BOCA DO PIEZÔMETRO	
RN	1.245				1,977		
AUX1		3,222		0.642	2,580		
AUX1	0.401	2,981			2,580		
PCH 01		2,981	0.931		2,050	0.115	2,165
PCH 02		2,981	1,205		1,776	0.130	1,906
AUX2		2,981		1,205	1,776		
AUX2	2,011	3,787			1,776		
PCH 03		3,787	0.968		2,819	0.080	2,899
AUX 3		3,787		0.968	2,819		
AUX3	1,000	3,819			2,819		
PCH 04		3,819		1,310	2,509	0.090	2,599
RN	2.65				1,977		
AUX 4		4,627		2,259	2,368		
AUX 4	0.821	3,189			2,368		
PCH 05		3,189	1,390		1,799	0.080	1,879
FECHAM.							
RN	2.65				1,977		
PCH04		4,627	2,122		2,505	2,509	0.004

## **ANEXO A4 - PERFIL CONSTRUTIVO DO POÇO DE MONITORAMENTO**

